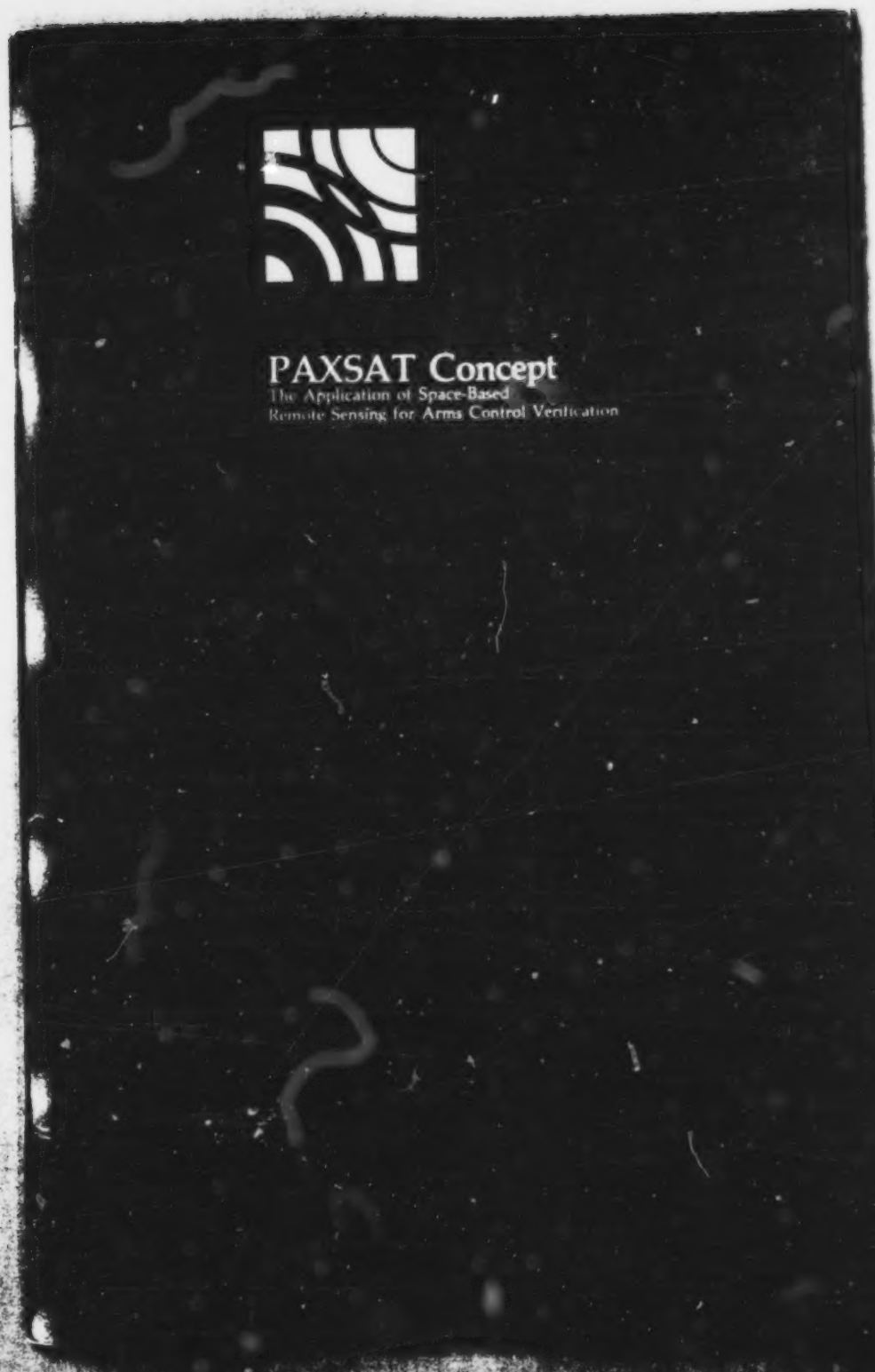

PAXSAT Concept
The Application of Space-Based
Remote Sensing for Arms Control Verification

87-04149/

We recommend that Canada intensify its efforts, multilaterally within NATO, the United Nations and in disarmament forums and bilaterally with the United States, the Soviet Union and other countries, to win acceptance for a comprehensive set of arms control measures . . . [including] The prevention of an arms race in outer space.

Recommendation 16e in the **Report of the Special Joint Committee of the Senate and the House of Commons**, ("The Hockin Report"), June 1986.

Canada is making substantive contributions to the discussion on this subject at the Conference on Disarmament. Canada's Verification Research Unit has commissioned research on space-based verification as a basis for further Canadian proposals.

Canada's International Relations: Response of the Government of Canada to the Report of the Special Joint Committee of the Senate and the House of Commons, December 1986.

PAXSAT Concept

The Application of Space-Based
Remote Sensing for Arms Control Verification

The graphic on the cover page represents the ongoing dialogue on arms control and disarmament issues in Canada and between Canadians and the world community.

On peut se procurer une version française de cette étude en écrivant à l'adresse suivante :

Direction du contrôle des armements et du désarmement
Ministere des Affaires extérieures
Tour A, 6e étage
125, promenade Sussex
Ottawa (Ontario)
Canada
K1A 0G2

Table of Contents

Introduction		7
Chapter 1	**Remote Sensing**	11
	What Is It?	12
	Civilian and Military Applications	13
	The Need for Military Sensors in Space	13
	Commercial Remote Sensing Technologies	14
	A Note of Caution	17
Chapter 2	**The Expanding Space-Faring Club**	29
Chapter 3	**Multilateral Arms Control Verification**	35
	The Way of the Future?	36
	"Third Systems"	37
	International Satellite Monitoring Agency	37
Chapter 4	**PAXSAT: A Canadian Approach to Multilateral Verification**	39
	PAXSAT 'A': Space-to-Space Remote Sensing	41
	PAXSAT 'B': Space-to-Ground Remote Sensing	44
Conclusion		45

Figures

1	Definition of Verification	9
2	Electromagnetic Spectrum	15
3	A Variety of Remote Sensing Images of Ottawa	19
4	"Canada, too, is a space-faring nation"	34
5	PAXSAT Conceptual System Data Flow	42
6	For Further Reading	47

Tables

1	Some Existing and Proposed Civilian Earth-Sensing Satellites	16
2	Some Canadian Achievements in Space	31

Introduction

Introduction

Scores of artificial "eyes" are, at this moment, peacefully surveying our planet from outer space. Circling the Earth at different altitudes, these man-made sensors, commercial and military, belong to several countries and watch for various things: some passively gather data for intelligence purposes, some monitor the growth of crops, some watch the weather, some hunt for minerals. Among the multitude of applications for which satellites are employed, one has acquired increasingly critical importance with respect to reaching arms control and disarmament agreements: the use of space-based remote sensing for verification purposes.

Up to now, it has been the United States and the Soviet Union that have adapted their space-based surveillance capabilities to arms control verification, mainly with respect to their bilateral agreements. It is now becoming more and more apparent that other nations, some already with a stake in space, recognize a responsibility to become more closely involved in certain aspects of space surveillance.

One of the major undertakings of the Verification Research Program of the Department of External Affairs over the past several years has been to bring together a team of experts from government, universities and industry to focus Canadian space technology and know-how on its application to the process of arms control verification. A distinctly Canadian concept, termed PAXSAT ('pax' being Latin for peace), has emerged from these investigations. It centres on assessing the feasibility of applying space-based remote sensing technology to the tasks of verification in the context of multilateral arms control and disarmament.

PAXSAT research has concentrated on two potential applications of space-based remote sensing to multilateral arms control verification. The first is space-to-space remote sensing (PAXSAT 'A') which deals with verification of agreements involving space objects. The second, space-to-ground remote sensing (PAXSAT 'B'), focusses on how to assist in the verification of agreements involving conventional forces. This brochure will examine the PAXSAT concept in general terms, outlining the context of multilateral arms control verification and some of the major assumptions underlying the PAXSAT projects.

Figure 1 Definition of Verification

Verify v.t., Establish the truth or correctness of, by examination or demonstration. (Concise Oxford Dictionary)

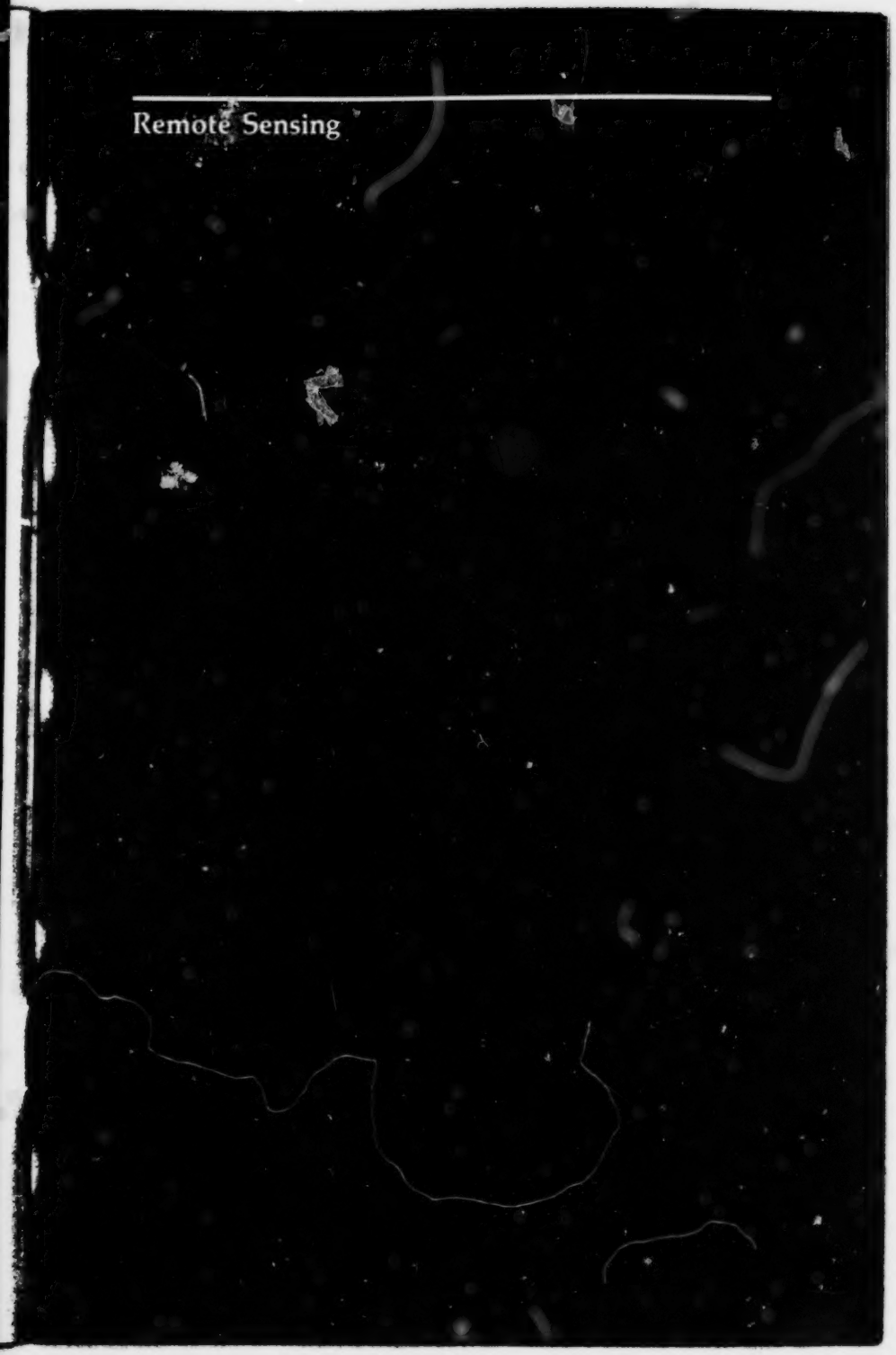
An arms control agreement is essentially a compromise in which each side bases at least part of its national security on the promises of the other contracting parties rather than on the strength of its own weaponry. Consequently, reciprocal confidence that all parties will live up to their obligations is essential, particularly in conditions of suspicion and uncertainty. Since the benefit to each participating state derives from the compliance of the other participants in the agreement, there is a natural desire for some form of external assurance that all participants are fulfilling their obligations. In simple terms, verification is the means by which such assurance is gained. Consequently, the reliability and adequacy of the verification measures associated with an arms control agreement are usually of vital importance, both to the successful negotiation of an agreement and to its successful implementation once it enters into force.

The actual methods used to verify an arms control agreement can vary widely: from on-site inspection where inspectors physically visit a facility, to the use of remote sensors located some distance from the area being examined. The latter systems have proven of particular importance for verifying bilateral arms control agreements between the USA and the USSR. Such systems, called "national technical means" (NTM), are not identified in

the texts of any of these bilateral agreements. However, the United States Arms Control and Disarmament Agency has provided a useful definition of "national technical means":

> *Assets which are under national control for monitoring compliance with the provisions of an agreement. NTM include photographic reconnaissance satellites, aircraft-based systems (such as radars and optical systems), as well as sea- and ground-based systems (such as radars and antennas for collecting telemetry).*

While many technical systems thus come within the scope of NTM, there seems to be general agreement that satellite systems, because of their relative unobtrusiveness, are among the most important.


Remote Sensing

Chapter 1

Remote Sensing

What Is It?

Remote sensing can be defined as the use of electromagnetic radiation to record from a distance, data on the environment (often in the form of images), which can be interpreted to yield useful information. Put more simply, remote sensing means being able to monitor objects or events from far away. The design of remote sensing systems involves consideration of a number of factors such as:

- **The source of the electromagnetic radiation to be recorded:** This source may be natural in origin like the light of the sun and the heat emitted from the Earth, or it may be man-made like radar.
- **Target interaction:** The characteristics of the target will affect the amount and characteristics of the energy emitted or reflected from it.
- **Atmospheric interaction:** The atmosphere may distort or scatter electromagnetic radiation passing through it. In the case of space-to-space remote sensing this factor does not apply.
- **The sensor:** The device which records the energy reaching it from the target is a key element.
- **Data transmission:** Once sensed, the data must be transmitted from the sensor platform to the ground, where it is received and stored.
- **Analysis and interpretation:** Before the data can be used it must be processed and analyzed by computers and skilled human interpreters. This is a significant aspect that is often overlooked.

Remote sensors can be located on the ground, on ships, on aircraft and on spacecraft. This discussion focusses on those devices used on satellites.

A variety of space sensors detect electromagnetic energy. These include photographic cameras, return-beam vidicon cameras, infra-red detectors, and multispectral scanners. Radars and passive microwave sensors can also be used from space. In addition, electronic listening devices mounted on spacecraft can be used to detect communications transmissions and radar emissions.

Civilian and Military Applications

Space-based remote sensors have become an indispensable tool of modern society for both civilian and military purposes. Many of the same types of equipment are used for both. Generally, however, military remote sensors have been designed for much higher resolutions than their civilian counterparts. Resolution is related to the size of the smallest object a sensor can distinguish and it is determined by the focal length of the sensor, its distance from the object being viewed, and the size of the "picture element" or pixel of the sensor's recording medium.

Some reports claim that the most advanced military space surveillance systems have a ground resolution in the order of 10 cm. In contrast, the best ground resolution of current commercial satellites is about 10 m. For some arms control verification tasks, it may be sufficient to merely *detect* an object or activity, while other tasks may require *identification*, which is more demanding in terms of resolution. As an example of the resolution that may be required for verification purposes, studies have indicated that a ground resolution of 4.5 m is necessary to detect an aircraft using optical sensors, while .9 m is needed to identify it.

The Need for Military Sensors in Space

Military surveillance from space has been clearly beneficial in its application to arms control verification. Even when used exclusively for military purposes these systems have contributed directly to international peace and security through the maintenance of effective deterrence. Without them, the fear of surprise attack — especially during periods of political crisis — would have necessitated defence postures and military deployments which would have been much less safe than those of today. As a result, it is reasonable to conclude that military space-based surveillance systems have contributed to the maintenance of peace for the past two decades. To interfere with their effective functioning would have been counter-productive in terms of global security.

Military space-based surveillance systems are, and will probably continue to be, essential to the verification of significant arms control and disarmament agreements. The PAXSAT concept in no way impinges upon the critical role played by these systems.

Commercial Remote Sensing Technologies

The rapid development of civilian remote sensing satellites over the past two decades has been extraordinary. Among those designed to view the Earth's land surface in fair detail, are some that provide data which is sold commercially. Of these, the two most important operating examples are LANDSAT and SPOT. LANDSAT is the name given to a series of remote sensing satellites launched by the United States. The LANDSAT program was "privatized" in 1985 and continues under a consortium called EOSAT. The fifth in this LANDSAT/EOSAT series of satellites was launched in 1984 and there are plans for more. SPOT is a satellite developed by France. The first one, in an anticipated series of four, was launched in January 1986. SPOT also operates on a commercial basis.

Images produced from both these satellite systems, which have recently appeared in the press, on television and in trade publications for a variety of media purposes, have suggested to many the possibility of using such data for arms control verification.

These published photos include the following:

- LANDSAT and SPOT images of the Chernobyl nuclear reactor site in the Soviet Union which suffered a catastrophic fire in April 1986.
- LANDSAT images of the Iran-Iraq war.
- LANDSAT images purportedly showing construction of surface-to-air missile (SA-5) sites in Libya.
- LANDSAT image allegedly showing under-ice launch tests of Soviet submarine launched ballistic missiles (SLBMs) in the Arctic Ocean near Wrangel Island, USSR.
- LANDSAT image of the Kola Peninsula in the northern Soviet Union purportedly showing newly constructed air and naval (submarine) bases.
- LANDSAT image of an alleged mobile intermediate-range ballistic missle (SS-20) base near Kirov, USSR.
- SPOT images of Soviet space shuttle facilities at Tyuratam, USSR.

Figure 2 Electromagnetic Spectrum

This figure illustrates the electromagnetic spectrum and identifies some of the devices used to sense radiation of different wavelenghts. Just as the human eye is sensitive to only a small portion of the spectrum (visible light), some sensors can "see" in one band of wavelengths. However, other sensors can be designed to focus on several of different bands which are optimized for the task at hand.

Not only do remote sensors increase the range of the electromagnetic spectrum with which we can "see" but through the use of magnification as well as image enhancement and analysis techniques, the detail provided can be greatly increased.

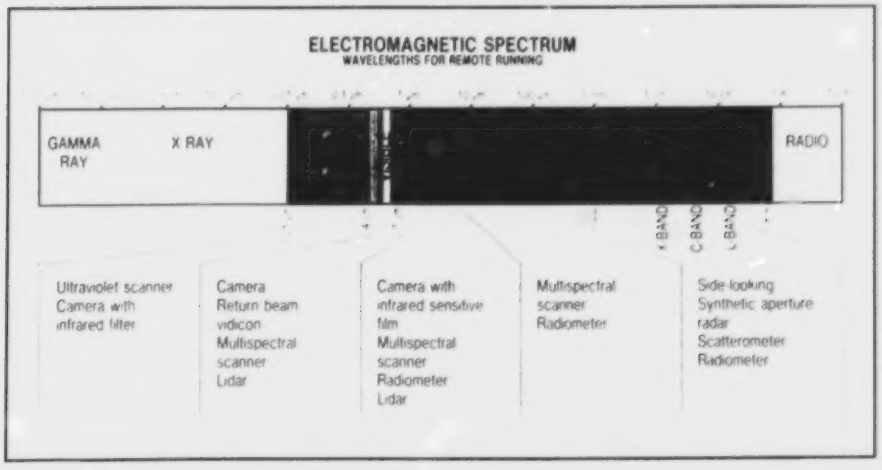


TABLE 1 Some Existing and Proposed Civilian Earth-Sensing Satellites

Year	Program	Country	Sensors	Resolution	Swath Width*
1978	SEASAT-1	USA	SAR**	25 m	100 km
1981	SIR-A***	USA	SAR	40 m	50 km
1982	LANDSAT-4	USA	Thematic Mapper	30–120 m	185 km
			Multi-spectral Scanner	82 m	185 km
1984	SIR-B	USA	SAR	25 m	20–50 km
1986	SPOT	France	Visible and Near Infrared	20 m	2x60 km
			Panchro-matic	10 m	2x60 km
1989	LANDSAT-6	USA	Enhanced Thematic Mapper	15–120 m	185 km
			Emulated Multi-spectral Scanner	60 m	185 km
1990	ERS-1	ESA****	SAR	30 m	80 km
1990	SIR-C	USA	SAR	25 m	20–50 km
1991	JERS-1	Japan	Visible and Near Infrared Radiometer	25 m	150 km
			SAR	18 m	75 km
1993	RADARSAT	Canada	Visible and Near Infrared	30 m	400 km
			SAR	8–28 m	100–500 km

* Swath width is the width of the strip of terrain or ocean recorded by the satellite sensor in one orbital pass.
** Synthetic Aperture Radar.
*** Shuttle Imaging Radar.
**** European Space Agency.

- SPOT images of a secret facility near Samarra, Iraq allegedly producing chemical weapons.

In January 1986 it was also reported that LANDSAT imagery was being used to monitor Soviet military activities in the Far East. Another interesting press report in August 1986 suggested that SPOT images taken on behalf of a Swedish firm indicated apparent preparation in the Soviet Union for a resumption of underground nuclear testing.

All the above seems to suggest that existing civilian Earth observation satellites could be used to provide information of some relevance to arms control verification. Realistically, however, the resolution and the design of sensors on-board current civilian satellites are unlikely to meet the minimum requirements for verification purposes. Nevertheless, in certain cases such satellite data might conceivably provide the impetus to trigger other fact-finding procedures, including the possibility of on-site inspections, to get more detailed information.

It is unclear at present whether the resolution and coverage of commercial satellites will continue to improve to the point where they will become more effective for arms control verification. Their primary mission — civilian Earth sensing — may simply not demand such a capability. There is, however, another possibility suggested by the above examples: perhaps the technology developed for civilian Earth observation, or which is currently planned for such satellites, could be adapted for more direct application to arms control verification. This idea is one of the central themes underlying Canada's PAXSAT research.

A Note of Caution

There has sometimes been a tendency to view space-based remote sensors as almost all-seeing — to believe that they can watch everything going on below. Before ending this general discussion of the use of such sensors, it is important to enter a note of caution about the capabilities of these devices: they are unlikely, alone, to constitute a complete solution to all the difficulties of verifying compliance with arms control undertakings. Among the very significant limiting factors to be taken into account when considering the utility of space-based remote sensors are:

- Constraints on resolution capabilities.
- Other obvious sensor limitations, such as their inability to see inside buildings, underground or deep underwater.

- Environmental and climatic considerations, such as the amount of available light and the extent of cloud over.
- Satellite orbital and coverage constraints.
- Launch vehicle payload constraints.
- Limitations on fuel and lifetime of the spacecraft.
- Data processing constraints caused by collection of massive amounts of satellite data.
- Cost and availability of relevant technical expertise.
- The possibility of interference with the sensors or the use of deception methods such as camouflage.

Through co-operation and the use of other verification methods, many of these limitations can be largely overcome, but serious political problems relating to national sovereignty and the intrusiveness of these other methods must first be successfully addressed.

Figure 3 A Variety of Remote Sensing Images of Ottawa

The images appearing on pages 21-27 show Ottawa, from several altitudes using different remote sensing devices. They illustrate some of the capabilities of a variety of overhead remote sensors sensitive to various parts of the electromagnetic spectrum.

The radiation received by a remote sensing device possesses characteristics dependent in part on the object that has reflected or emitted the radiation. By analysis and interpretation of this data, information concerning the object can be derived. This information content varies depending on the wavelength of electromagnetic radiation being sensed.

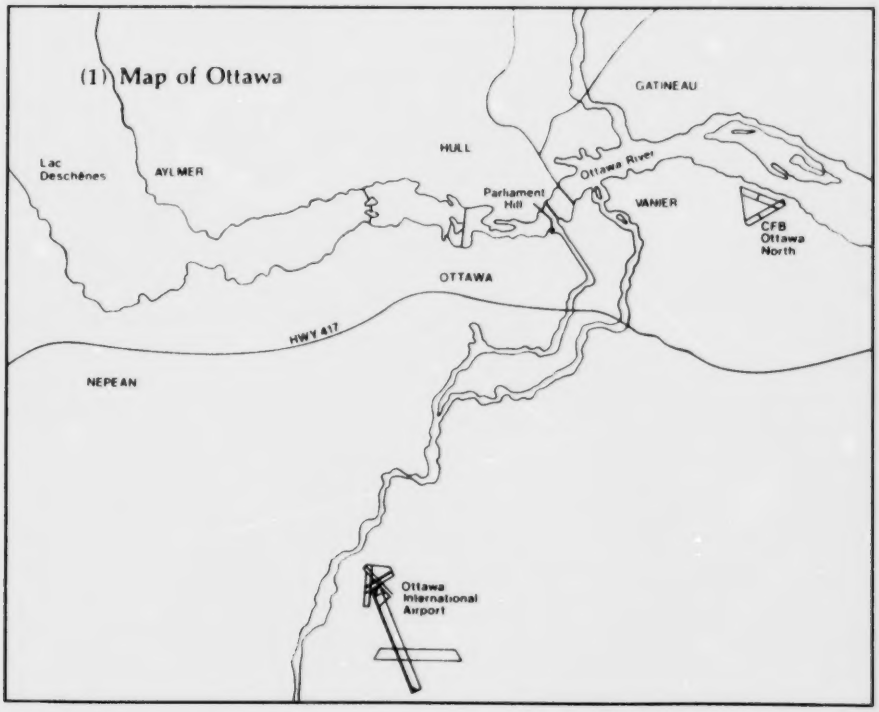
As these images show, the distance of the sensor from the object being imaged is an important factor in remote sensing because it directly affects what can be "seen". Sensors based on aircraft can generally provide images with much greater detail than those on satellites. On the other hand, the "swath width" or amount of terrain viewed by the sensor is usually much narrower for airborne sensors than for satellite-borne ones. In other words, aerial sensors usually see fewer things in greater detail than do satellite sensors which can cover much more territory. This inter-relationship between the detail of imaging and the scope and rate of coverage is indicative of many similar trade-offs involved in choosing the right remote sensor for the task at hand.

One of the chief advantages of space-based remote sensors in the context of arms control verification is the fact that these devices do not intrude into national airspace. However, a key problem resulting from their location hundreds of kilometres above the Earth, is to be able to "see" objects and activities below in sufficient detail to determine whether an arms control obligation is being breached. An additional complication is that such monitoring involves watching and recording events occurring throughout very large tracts of territory, over which a satellite may pass only intermittently.

An important feature of remote sensing to remember in the context of arms control verification, which is also illustrated by these pictures, is the benefit derived from complementary use of different types of sensing devices. For example, thermal infra-red imaging possesses unique sensing capabilities (and limitations) that are not identical to those provided by other types of remote sensors such as visible-light cameras or radar.

Consequently, by employing a variety of types of remote sensors in conjunction, there is greater opportunity to acquire relevant information for verification purposes.

Several of the images on these pages were made using information in digital form, which can be processed using computers. Such processing can considerably increase the useful information derived from the raw data produced by the sensor. For example, while the resolution of an image cannot be improved by such computer enhancement techniques, it is possible to reduce blurring and poor contrast. Photographic film has in the past generally provided better resolution than such electronic sensors, but this is no longer the case.



(1) Map of Ottawa

(2) Airborne synthetic aperture radar (SAR) image of Ottawa, taken on January 28, 1986 from a height of 9.5 km using a STAR-1, K-Band SAR with 6 m resolution. It is interesting to note that the small dots that appear in portions of the Ottawa River are reflections from ice-fishing huts. Civilian applications of SAR imagery include mapping, geology, agriculture, oceanography, and ice studies. **(Courtesy of INTERA Technologies Ltd., Ottawa).**

(3) SEASAT L-Band synthetic aperture radar (SAR) image of Ottawa. SEASAT was an experimental US satellite intended mainly for oceanography. This image, taken on July 30, 1978 from an altitude of about 800 km, has a ground resolution of about 25 m.

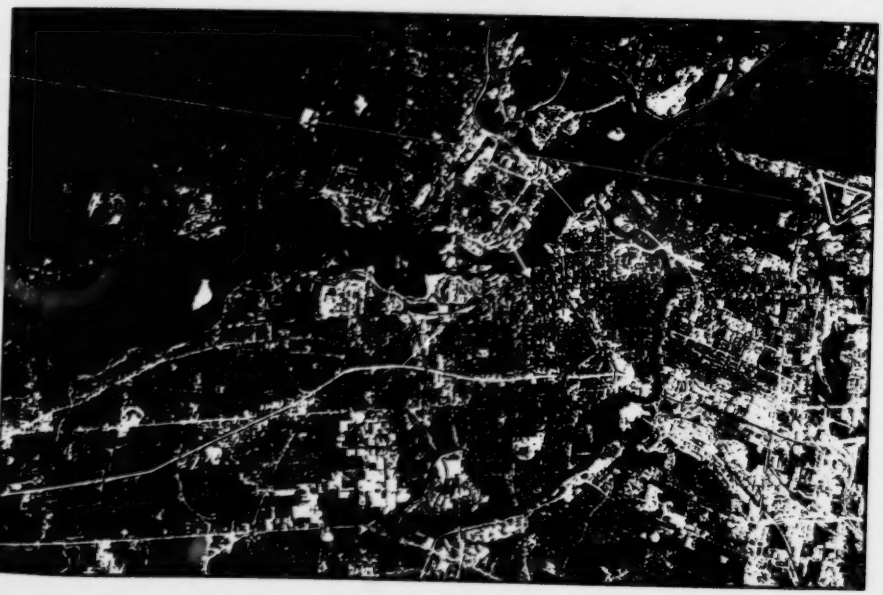
Radar has the advantages of being able to penetrate cloud cover and to operate both during the day and at night. However, because of its longer wavelength, radar generally has a resolution considerably poorer than that of visible light sensors. In the case of SAR, synthesizing a longer aperture for the radar through the use of the motion of the platform, permits greater resolution to be achieved. Some sources suggest that a resolution for space-based SARs of 1 m may be realized within the next decade.

Because radar involves generating electromagnetic pulses which are reflected back to a receiver, they require the use of a greater

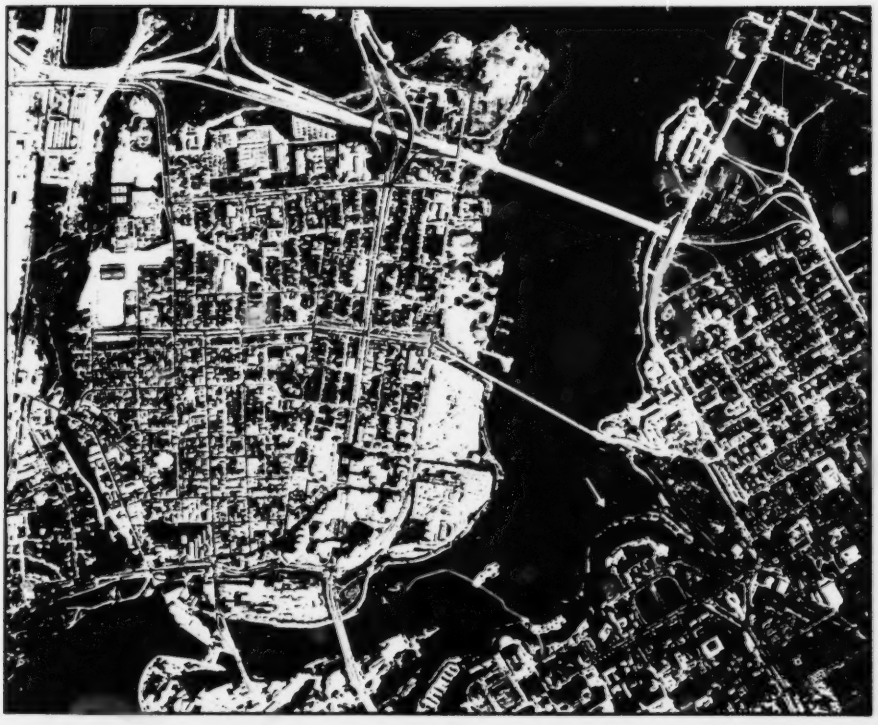
power supply than do most other sensors; a disadvantage when weight is critical, as in the case of satellites. SARs also generate a massive amount of data which places a considerable burden on its processing by computer. **(Courtesy of Canada Centre for Remote Sensing).**

---

(4) "False-colour" infra-red aerial photograph taken on August 20, 1978 from a height of 12 km using a standard aerial photographic camera with a 15.24 cm lens. Special film and lens filter are used when taking such photographs. Vegetation in the picture appears red, hence the "false colour" designation. Civilian applications of such imagery include agricultural monitoring, mapping, environmental disaster impact analysis, and archeology. **(National Air Photo Library).**

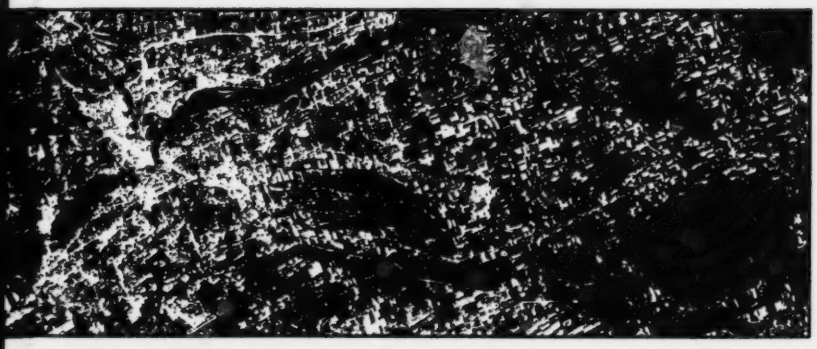


(5) **Aerial colour photograph of Ottawa** taken in July 1985 from 2 400 m altitude. Civilian applications of air photography are manifold, including mapping and land use planning. **(National Air Photo Library).**



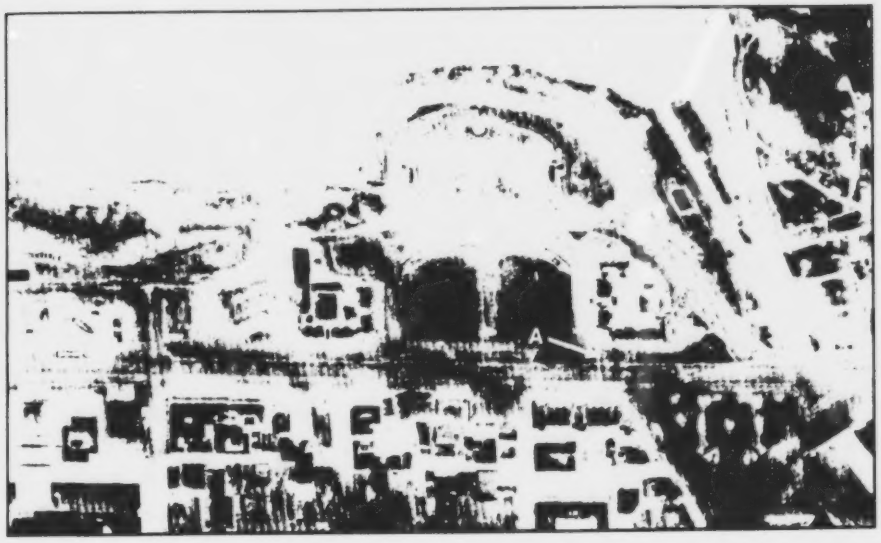
(6) LANDSAT image of Ottawa. Taken on October 24, 1982 from a height of 710 km by the Thematic Mapper aboard the US LANDSAT-4 spacecraft that was launched in 1982. The resolution of this image is 30 m. Many roads, airports and large buildings can be discerned in this photographic print. This type of image can be used for a variety of civilian applications including land use, forestry and mapping. **(Courtesy of Canada Centre for Remote Sensing).**

(7) **Colour aerial photograph of Ottawa** taken in July 1985 from 6 300 m. The camera used in this photo and No. 5 both employed a 15.24 cm lens. (**National Air Photo Library**).



(8) **MEIS II image of Parliament Hill** taken from 1 500 m height in October 1983. MEIS II is an airborne multispectral push-broom sensor. Applications of this type of electronic sensor include agriculture, forestry, pollution control, mapping and land management. **(Courtesy of Data Acquisitions Division, Canada Centre for Remote Sensing).**

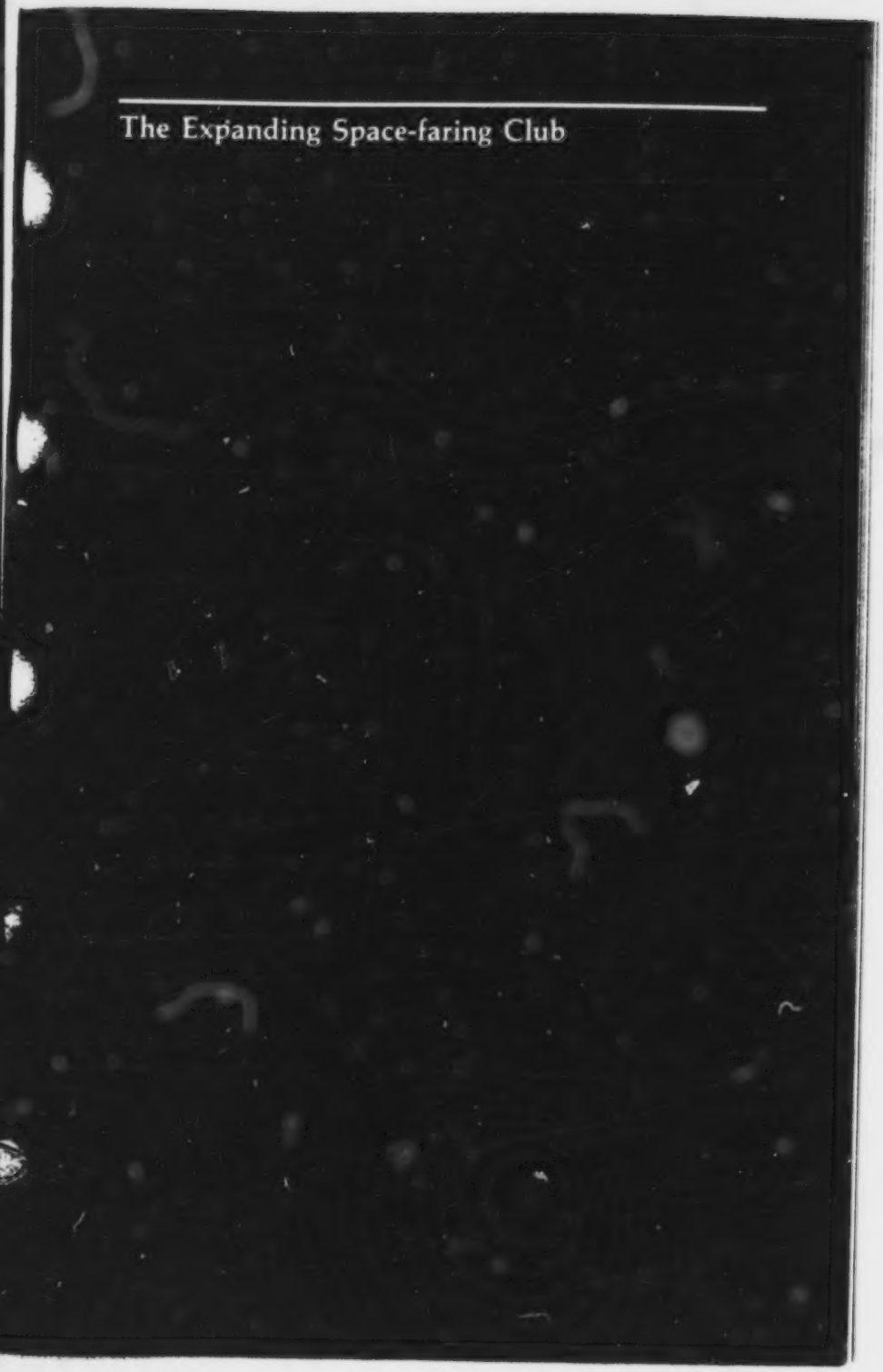
(9) **"Thermal infra-red" image of Parliament Hill**, taken in December 1983 at 11:00 p.m. from a height of 450 m. Thermal infra-red imagery focusses on a different segment of the electromagnetic spectrum than does the false-colour imagery represented by image No. 7. Brighter areas in this picture are warmer than their surroundings. Note that the image was taken at night which highlights one of the useful characteristics of thermal infra-red imagery: it is not dependent on daylight.



Visible in the photo are several interesting features: heat emitted from buildings, an underground tunnel (A), the thermal "shadows" from automobiles that have recently moved from their parking spaces (B), and street lamps. The visibility of the tunnel points out another advantage of this type of imagery: its ability, in some circumstances, to "see" buried objects and to penetrate camouflage.

Resolution for thermal infra-red sensors is considerably poorer than for visible light cameras. Civilian applications for such imagery include heat waste management and pollution control. **(Courtesy of INTERA Technologies Ltd., Ottawa).**

Photographs (4), (5), and (7) reproduced from the collection of the National Air Photo Library with permission of Energy, Mines and Resources Canada


The Expanding Space-faring Club

Chapter 2

The Expanding Space-faring Club

The number of countries possessing space technology and having access to space is growing rapidly. The Space Shuttle program of the United States has probably most popularized the notion of easier access to space while, at the same time, illustrating the immense challenges and unforeseen dangers associated with its exploration. Increasingly, other emerging space powers are providing launch services. The successful development by France and the European Space Agency of the Ariane launch vehicle is a case in point. Japan, China and India, to varying degrees, are all proceeding along this same road. These achievements underline the growing capacity of many countries to build and launch satellites, and they emphasize that the ability to watch the Earth from high above will soon no longer be the preserve of a few nations.

Canada, too, is a space-faring nation. As the third nation after the United States and Soviet Union to operate a satellite in space, we have a long history of expertise in space technology, dating from the launch of Alouette, in 1962. We can rightfully claim to be at the very forefront of knowledge in many areas of space science and technology. As a result, we too have a responsibility to contribute the benefit of our knowledge to the arms control process to which we and our allies are dedicated.

It seems almost a certainly that space-based remote sensing will continue to be an indispensable element for verifying bilateral arms control agreements between the superpowers. What appears to be new today is the growing likelihood that other countries will become able to use similar technologies for multilateral verification. The form that this incipient capability will take is unclear. Certainly, more countries will come to possess their own space-based "national technical means" of verification. It also appears possible, as mentioned previously, that commercial satellites may provide some satellite data relevant to arms control verification to any nation or group willing to pay for it. It is possible, as well, that a group of like-minded nations, with the capacity for advanced space technology and acting on behalf of a wider group of signatories to a treaty, may agree to pool their resources for the purpose of verifying some future arms control agreement. The latter possibility, which might be termed "plurilateral" verification, deserves further exploration.

Table 2 Some Canadian Achievements in Space

September 1962	**Alouette 1**: Canada became the third country after the Soviet Union and the United States to operate a satellite in space. Alouette 2 was launched in November 1965.
January 1969	**ISIS 1** (International Satellite for Ionospheric Studies): ISIS 2 was launched in April 1971.
November 1972	**Anik A1**: Canada was the first country to operate a domestic telecommunications satellite system using a satellite in geostationary orbit. This was the first of three Anik A satellites. Anik A2 was launched in April 1973 and Anik A3 in May 1975.
January 1976	**"Hermes" or CTS** Communications Technology Satellite): The first satellite capable of transmitting directly to inexpensive home receivers in the 12–14 GHz band.
December 1978	**Anik B**: The first communications satellite to operate simultaneously in the 4–6 GHz and 12–14 GHz frequency bands.

August 1982 — **Anik DI**: The first commercial satellite built by a Canadian private contractor, Spar Aerospace Limited. Anik D2 was launched in November 1984.

November 1982 — **Anik C3**: Launched from the first commercial Space Shuttle mission. Anik C2 was launched in June 1983 and Anik C1 in April 1985, on later Space Shuttle missions.

November 1982 — **"Canadarm"** or the Remote Manipulator System: Declared operational after having been flown and tested successfully on several Space Shuttle missions.

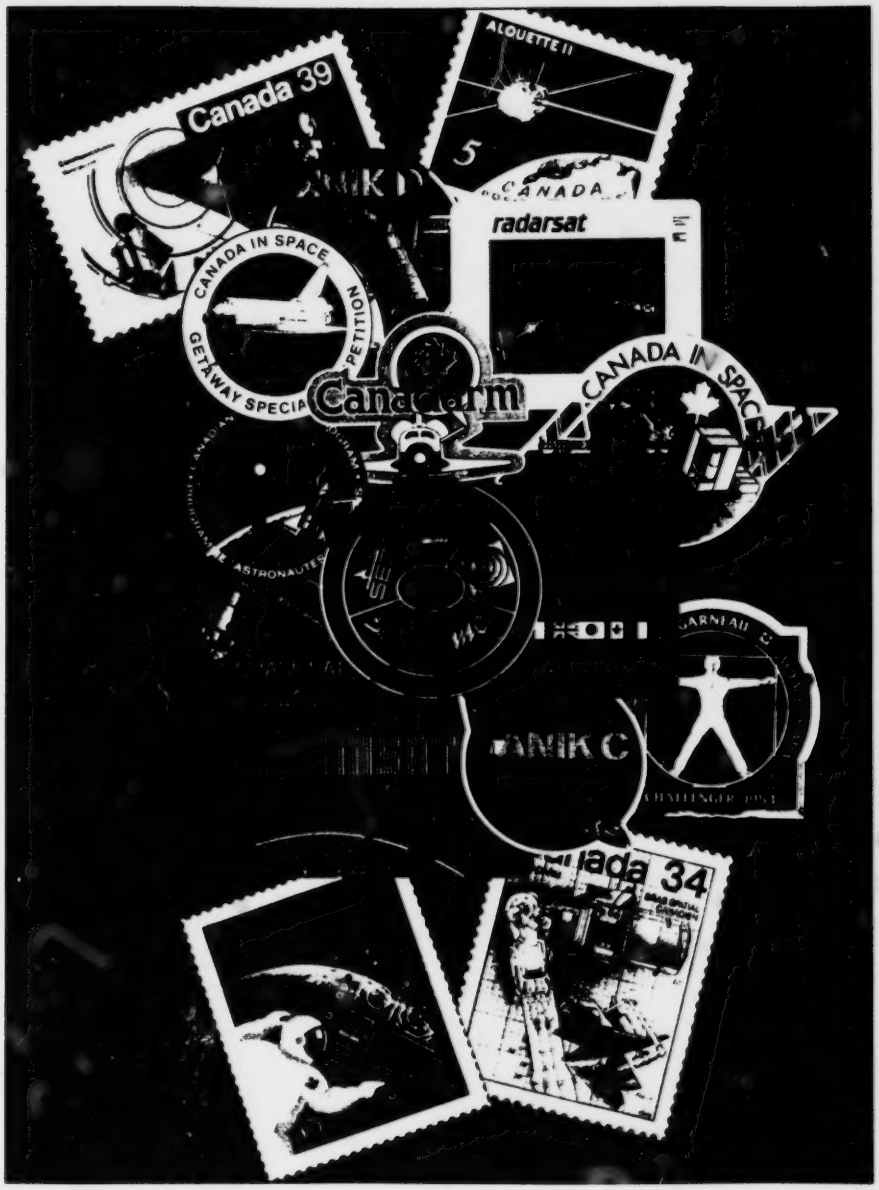
February 1983 — **SARSAT** (Search and Rescue Satellite Aided Tracking): Canada supplied satellite transponders and designed and built several ground stations for this international project.

October 1984 — **Marc Garneau**: The first Canadian astronaut in space flies aboard the Space Shuttle *Challenger*.

?	1991	**M-SAT** (Mobile Satellite)*: A communications satellite to meet the need for improved voice and data communications to vehicles, aircraft, ships and other portable stations for a wide variety of personal and business communications applications in rural and remote areas of Canada.
?	1993	**RADARSAT***: A synthetic aperture radar remote sensing satellite which will provide information on ice conditions, icebergs, ships and ocean conditions in our Arctic and coastal economic zones, as well as data for land mapping. The satellite will also provide global marine wind information and radar stereo-geological mapping.
?	1994	**Space Station**: One of Canada's contributions will probably be the station's mobile servicing centre.

* As of February 1987, neither the M-SAT nor the RADARSAT projects had been given the final go-ahead.

Figure 4 "Canada, too, is a space-faring nation"



Multilateral Arms Control Verification

Chapter 3

Multilateral Arms Control Verification

The Way of the Future?

To date, partly as a result of a series of significant bilateral arms control agreements, it is the United States and the Soviet Union which possess the bulk of the world's capabilities with respect to verification from outer space. Excluding the Non-Proliferation Treaty of 1986, it can be argued that no multilateral treaty of sufficient significance yet exists that would warrant the high level of technical sophistication and financial expenditure required for space-based remote sensing to verify its provisions. As the arms control process continues to evolve, however, it seems increasingly likely that significant treaties of a multilateral nature will be negotiated. Among such possible agreements might be treaties relating to outer space, chemical weapons and the control of armaments in specific regions, notably Europe. In all three cases, space-based remote sensing is likely to play a significant, if not an essential role in the verification process.

In this context, the recent agreement reached in Stockholm in September 1986 is illustrative. Referred to as the "Stockholm Document", this agreement was signed by 35 member countries of the Conference on Security and Co-operation in Europe (CSCE). It involves a complex arrangement of confidence- and security-building measures (CSBMs) intended to reduce the fear of surprise attack and improve trust regarding military matters in Europe. The verification methods specified in this agreement include the use of ground and air inspections. The development of advanced space-based remote sensors for the sole purpose of verifying only the Stockholm Document may not be justified because the CSBMs specified in the Document may not warrant the same degree of concern about verification as might an agreement that substantially reduces or limits armaments. Nevertheless, the political significance of this agreement should not be underestimated: it was signed by all European countries (except Albania), as well as Canada and the United States, and it is one of the few multilateral security-related agreements adopted in over a decade. As a successful test of the multilateral approach to East-West arms control negotiations, the implementation of the Stockholm Document may well foreshadow future successes in the process of multilateral arms control and disarmament.

As additional multilateral agreements are concluded, it is expected that verification will increasingly involve more coun-

tries. Nations have an obvious interest in participating in systems designed to monitor compliance with agreements to which they are party.

This trend toward multilateral agreements is occurring at the same time as more countries become capable of employing space-based sensors to verify arms control agreements. These two mutually reinforcing trends -- more multilateral agreements and more countries with space-based sensors — suggest we are reaching a point where the multilateralization of arms control verification is no longer just a possibility: it is on the verge of becoming — in one form or another — a reality. What remains is to devise such a "third system" of verification and to guide its implementation.

"Third Systems"

The term "third system" applies to verification capabilities not owned and operated exclusively by the superpowers. "Third systems" would not act as umpires or arbitrators in matters relating uniquely to the superpowers, but rather would be developed as a result of obligations assumed in specific multilateral agreements.

The PAXSAT concept focusses on the feasibility of developing such a "third system". In contrast to other proposals, it is envisaged as operating in a multilateral context, it recognizes the practical necessity of being treaty-specific, and it reflects Canada's active involvement in the arms control and disarmament negotiating process.

International Satellite Monitoring Agency

At the first United Nations Special Session on Disarmament (UNSSOD I) in 1978, France proposed that the United Nations establish an International Satellite Monitoring Agency (ISMA) to assist in the verification of existing and new arms control treaties as well as other crisis management functions. ISMA was to be developed on a global basis under United Nations auspices in a proposed three-stage plan. It constituted an innovative approach to the multilateralization of verification techniques, a concept with which Canada concurred.

From the outset a number of major problems were evident. Although most of these were identified within the 1982 UN Experts Study concerning ISMA, they were not reflected adequately in the conclusions drawn from that report. First and most notable was a marked lack of enthusiasm on the part of the superpowers. They may have felt, with considerable justification, that participation in such a scheme might have

revealed too much about their own "national technical means".

Other countries have shown considerable sensitivity to the use of Earth sensing technology in other contexts. Such sensitivities would predictably be heightened if national security became more directly involved. Verification is not simply a straightforward question of gathering technical data. Interpretation of satellite imaging and judgment on compliance are more than mere technical issues: they are part of a political process.

There was also a financial constraint based upon whether or not it would be acceptable to spend on a single project, such as ISMA, an amount that would exceed the annual budget of the entire United Nations.

Some of these problems were discussed at the twenty-fifth anniversary meeting of Pugwash in 1982. Dr. Mark MacGuigan, then Canada's Secretary of State for External Affairs, observed that before an organization such as ISMA could be established, the world community might first recognize that it had a responsibility to conclude an arms control agreement of sufficient significance to warrant it.

In May 1986 the periodical *Space Policy* published a succinct and thoughtful article entitled "The ISMA Proposal Time for a Reappraisal". In it, the authors who are both officials of the French government, summarized some of the institutional, financial, political and methodological issues which militated against the ISMA proposal and suggested a reassessment of the context in which space-based remote sensing technology might be applied for arms control verification purposes.

Indeed the genesis of the PAXSAT concept in 1981 had its origin in the problems identified by Dr. MacGuigan at Pugwash and recently summarized in *Space Policy*. Unlike ISMA, PAXSAT was conceived from the beginning as *only* being developed within a specific treaty. Unlike ISMA, PAXSAT is based on a regional context. Unlike ISMA, PAXSAT would in no way have application outside the treaty. In PAXSAT, participants would be parties to the treaty itself.

PAXSAT: A Canadian Approach to Multilateral Verification

Chapter 4

PAXSAT: A Canadian Approach to Multilateral Verification

Canada is committed to promoting progress in arms control and disarmament negotiations. The Canadian emphasis is on the practical, which is one reason why we have identified research into the verification of arms control agreements — like the PAXSAT studies — as an area where we can make a useful contribution. Speaking in the House of Commons on January 23, 1986, the Right Honourable Joe Clark, Secretary of State for External Affairs, expressed it this way:

> *Effective verification provisions can help ensure compliance with arms control treaties as well as facilitate their negotiation. Verification is an area where Canadian expertise and diplomacy come together . . . We are second to none in our activity to develop verification procedures and technology that meet the practical requirements of arms control agreements actually under negotiation or envisaged.*

From the outset, the PAXSAT research has recognized the important realities and trends described in previous chapters. As a result, certain themes form core elements of the PAXSAT concept and add to the chances of actually realizing such a multilateral verification system. These include the following:

- There must be the prospect of a significant multilateral agreement to warrant the level of sophistication of technology and the expenditure of funds required for the actual development of such an advanced technical verification system.
- Parties to such an agreement should have the option, at least, to participate in its verification procedures.
- The PAXSAT system would be treaty-specific: it would be used only with respect to the agreements to which it expressly applied, as part of an overall verification process for those agreements alone.
- The treaty being verified would establish the requisite political authority for the verification mechanism and its operation.

- Technology requirements would be met by the collectivity of participants and would not depend upon or call for superpower participation, although the treaty would, of course, be open to all states.

- PAXSAT should be based, to the extent possible, on existing openly available technology, without requiring major costly improvements. The technology possessed by the Canadian commercial sector provided a base for the PAXSAT studies.

Although the PAXSAT research is not yet complete, a number of initial observations have emerged which are summarized briefly in the next two sections.

PAXSAT 'A': Space-to-Space Remote Sensing

The aim of the PAXSAT 'A' feasibility study was to determine whether a space-based observation system could help verify an outer space arms control regime. To this end, the study sought to answer two principal questions:

1) Can space observation of an object in space determine the role or function of the object, particularly regarding a weapons system?

2) Would the operational requirements permit a viable spacecraft design for the PAXSAT 'A' mission?

The answer to both these question was a tentative "yes". Among the initial observations from the PAXSAT 'A' study were the following:

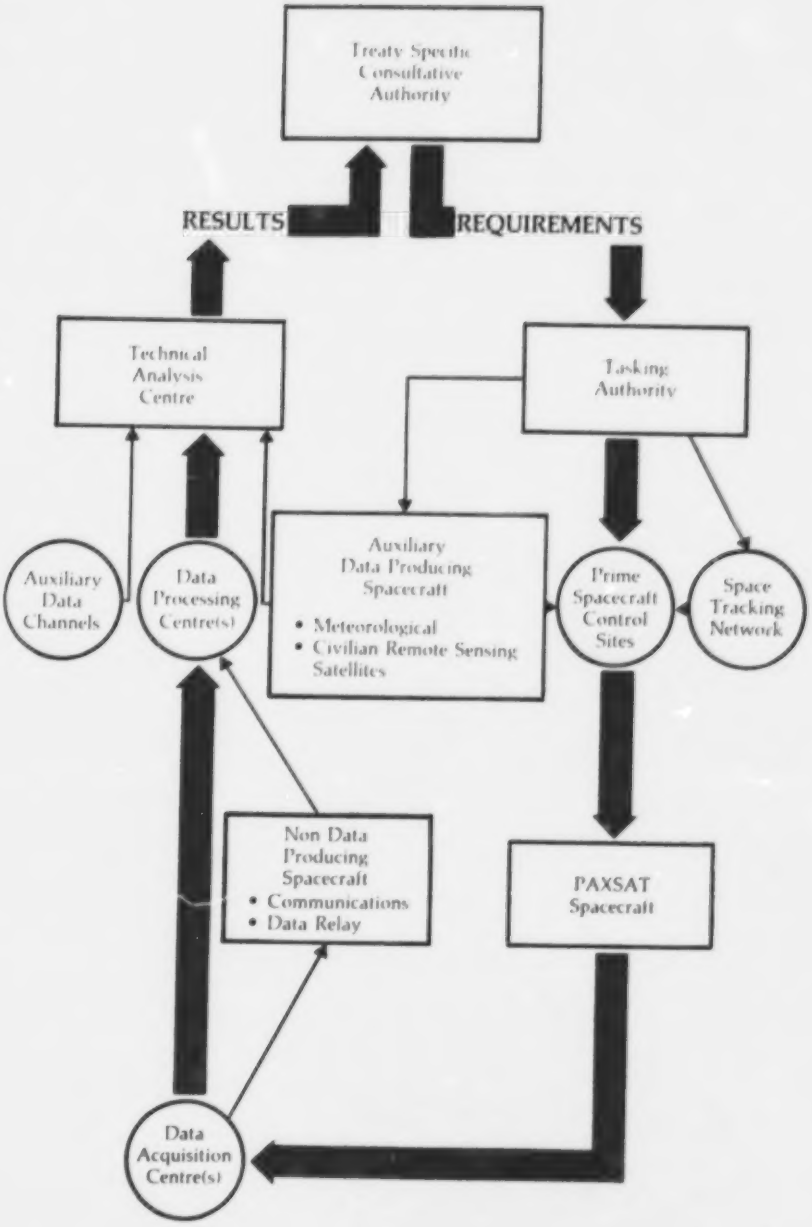
- The high degree of optimization inherent in the design of all spacecraft and in their orbital parameters, together with the nature of signals to and from the spacecraft, can provide highly significant data as to that spacecraft's function.

- The most useful procedure for determining a spacecraft's function, using space-based observation systems, would be to co-orbit and keep station with the target over a reasonably lengthy period of time.

- An alternative procedure for observing a spacecraft, involving less fuel consumption, would be a "fly-by". This might be used for preliminary screening of a target.

Figure 5 PAXSAT Conceptional Systems Data Flow

This diagram illustrates the general flow of information as well as key decision-making points for a proposed PAXSAT space-based verification system. One of the important elements requiring careful consideration by participants in any PAXSAT system will be development of the Treaty Specific Consultative Authority that will be required to make critical political decisions relating to verification activities. Another important requirement will be to develop measures to ensure confidentiality of data collected and analyzed by the technical portions of the system.


Treaty Specific Consultative Authority
RESULTS
REQUIREMENTS
Technical Analysis Centre
Tasking Authority
Auxiliary Data Channels
Data Processing Centre(s)
Auxiliary Data Producing Spacecraft
• Meteorological
• Civilian Remote Sensing Satellites
Prime Spacecraft Control Sites
Space Tracking Network
Non Data Producing Spacecraft
• Communications
• Data Relay
PAXSAT Spacecraft
Data Acquisition Centre(s)

- The fact that military and related space missions have orbits clustered in limited portions of space simplifies the problems of space-based observation.
- The PAXSAT 'A' spacecraft might carry several sensors including a visible-light imaging system, a thermal imaging system, a receiver to measure communication signals, and radiation and chemical sensors.
- All the proposed PAXSAT 'A' spacecraft components are available within the scope of the technology of civilian space organizations in non-superpower countries, with some modules readily available without further development.

PAXSAT 'B': Space-to-Ground Remote Sensing

The aim of the PAXSAT 'B' feasibility study was to examine the application of space-based remote sensing for verifying controls on conventional weapons in a regional context. To help focus the research effort, a specific well-defined geographic area was chosen: Europe. Among its preliminary observations were the following:

- The arms control agreements likely to be concluded in Europe will require various forms of verification measures and space-based verification may fulfil some of these requirements.
- Current or planned civilian remote sensing satellites have insufficient resolution performance and coverage frequencies to meet full PAXSAT 'B' requirements.
- Civilian satellites such as Canada's proposed RADARSAT do, however, have the potential to provide useful "detection" level information for use in a confidence-building context.
- Dedicated PAXSAT 'B' sensors and platforms are required to meet the full verification requirements of the expected agreements.
- The technology base exists in non-superpower nations from which the full PAXSAT 'B' system could be developed for the mid-to-late 1990s.

Conclusion

Conclusion

Conclusion

Canada cannot alone induce other countries to agree to arms control and disarmament treaties, nor is it Canada's desire to develop alone, verification systems such as those envisaged in the PAXSAT studies. Those endeavours, by their very nature, require the co-operation of many nations. We do not pretend to have all the answers to the political and technical difficulties surrounding negotiation of arms control agreements and their verification provisions. We can, however, through our research efforts into space-based verification technology hope to shed some light on the application of such technology to the development of a multilateral verification capability and thereby contribute significantly to practical progress in the arms control process.

Figure 6 For Further Reading
The following documents are available through public and university libraries across Canada.

1 John N. Barry. "Application of Space and Remote Sensing Technology to Verification of Weapons Systems for Use in Outer Space". In **Compliance and Confirmation: Political and Technical Problems in the Verification of Arms Control of Chemical Weapons and Outer Space** pp. 97–111. Edited by Harald von Riekhoff. Ottawa: Norman Paterson School of International Affairs, Carleton University, 1986.

2 R. Buckingham. **Satellite Surveillance and Canadian Capabilities.** Background Paper, No. 7. Ottawa: Canadian Institute for International Peace and Security, September 1986.

3 Canada. **Verification in All Its Aspects: A Comprehensive Study on Arms Control and Disarmament Verification Pursuant to UNGA Resolution 40/152(o).** Report submitted to the United Nations, April 1986.

4 F.R. Cleminson. "Feasibility of Space-based Remote Sensing in the Verification of a Treaty to Prevent An Arms Race In Outer Space". In **Modelling and Analysis in Arms Control**, pp. 399–408. Edited by Rudolf Avenhaus, Reiner K. Huber and John D. Kettle. NATO ASI Series, Series F. Computer and Systems Sciences, Vol. 26. Berlin: Springer-Verlag Heidelberg, 1986.

5 F.R. Cleminson and E. Gilman. **A Conceptual Working Paper on Arms Control Verification**. Arms Control Verification Studies, No. 1. Ottawa: Department of External Affairs, 1986.

6 F.R. Cleminson and E. Gilman. "Proposals and Technology in Arms Control Verification: A Survey." In **Quantitative Assessment in Arms Control: Mathematical Modelling and Simulation in the Analysis of Arms Control Problems**, pp. 359-381. Edited by Rudolf Avenhaus and Reiner K. Huber, Federal Armed Forces University, Munich, Federal Republic of Germany. New York: Plenum, 1984.

7 A. Crawford, et al. **Compendium of Arms Control Verification Proposals**. Second edition. ORAE Report No. R81. Ottawa: Operational Research and Analysis Establishment, Department of National Defence, March 1982.

8 William C. Heine. "Canada from Space". **Canadian Geographic** (December 1986/ January 1987): 42-55.

9 N.M. Matte. "International Verification Procedures: Past and Future Prospects". **Annals of Air and Space Law XI (1986)**: 237-257.

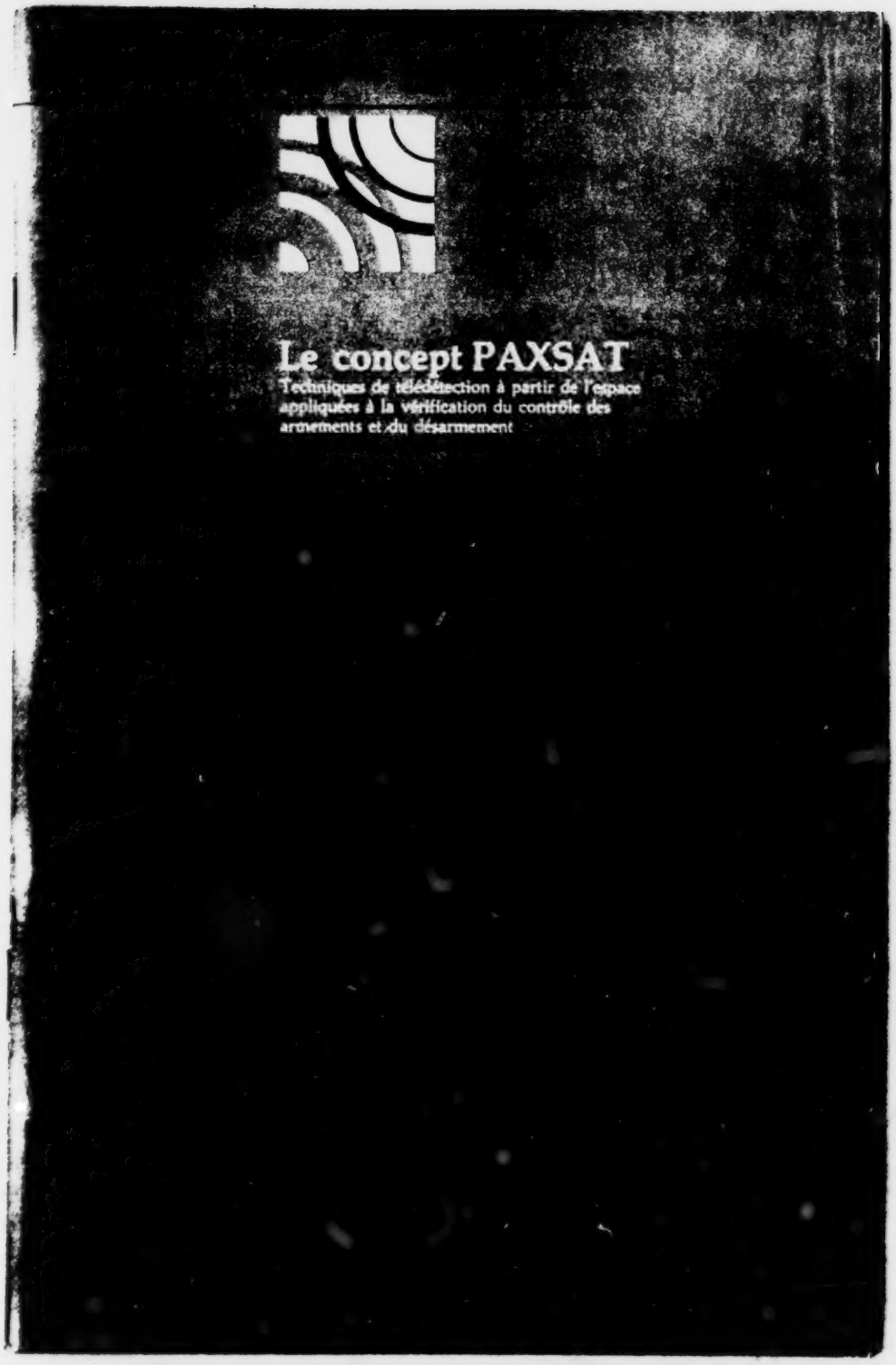
10 F.J.F. Osborne. "The PAXSAT Concept: A Study of Space-to-Space Remote Sensing". In **A Proxy for Trust: Views on the Verification Issue In Arms Control and Disarmament Negotiations**. Edited by John O'Manique. Ottawa: Norman Paterson School of International Affairs, Carleton University, 1985.

We urge all nations to co-operate and indeed participate in the development of the verification techniques needed to provide the confidence necessary to ratify these agreements, and which will enable us to plan the subsequent steps which we must take in all areas of arms control. For verification is not just a question of technical capacity but of the political will to reach agreement on the application of technologies and techniques.

In this spirit and in co-operation with others, Canada will continue to work vigorously towards real progress on verification.

The Right Honourable Joe Clark, Secretary of State for External Affairs, Address to the United Nations General Assembly, September 24, 1986.

Verification Brochures
No. 1 *Seismic Verification*, 1986


Le concept PAXSAT
Techniques de télédétection à partir de l'espace appliquées à la vérification du contrôle des armements et du désarmement

Nous recommandons que le Canada multiplie ses efforts multilatéraux au sein de l'OTAN, des Nations Unies et dans d'autres tribunes où il est question du désarmement, de même que ses négociations bilatérales avec les États-Unis et l'Union soviétique ainsi qu'avec d'autres pays, afin de faire accepter un ensemble de mesures de contrôle des armements ... [dont] la prévention d'une course aux armements dans l'espace extra-atmosphérique.

Recommandation 16e du **Rapport du Comité mixte spécial du Sénat et de la Chambre des communes** (« Rapport Hockin »), juin 1986.

Le Canada apporte une contribution substantielle à la discussion qui se poursuit sur ce sujet à la Conférence sur le désarmement. Notre Section de la vérification et de la recherche a fait faire des études sur la vérification dans l'espace pour étayer les futures propositions canadiennes.

Les relations internationales du Canada : Réponse du gouvernement du Canada au Rapport du Comité mixte spécial du Sénat et de la Chambre des communes, décembre 1986.

Le concept PAXSAT

Techniques de télédétection à partir de l'espace appliquées à la vérification du contrôle des armements et du désarmement

L'illustration en page couverture symbolise le dialogue permanent sur le contrôle des armements et le désarmement qu'entretiennent les Canadiens entre eux et celui qu'ils établissent avec la communauté internationale.

An English translation of this study is available. To obtain a copy, please contact:

Arms Control and
Disarmament Division
Department of External
Affairs
Tower A, 6th Floor
125 Sussex Drive
Ottawa, Ontario
Canada
K1A 0G2

Table des matières

Introduction		7
Chapitre premier	**La télédétection**	11
	Qu'est-ce que la télédétection?	12
	Applications civiles et militaires	13
	Besoin de capteurs militaires dans l'espace	13
	Techniques commerciales de télédétection	14
	Mise en garde	17
Chapitre deux	**Expansion du club des nations spatiales**	29
Chapitre trois	**Vérification multilatérale du contrôle des armements**	35
	Solution d'avenir?	36
	« Troisième système »	37
	Agence internationale de satellites de contrôle	37
Chapitre quatre	**PAXSAT : L'approche canadienne en matière de vérification multilatérale**	39
	PAXSAT « A » : Télédétection d'objets spatiaux à partir de l'espace	41
	PAXSAT « B » : Télédétection au sol à partir de l'espace	44
Conclusion		45

Figures

1	Définition de la vérification	9
2	Spectre électromagnétique	15
3	Série d'images d'Ottawa, prises en télédétection	19
4	« Le Canada, lui aussi, est un État spatial »	34
5	Organigramme conceptuel des données fournies par l'AXSAT	43
6	Lecture supplémentaire	47

Tableaux

1	Quelques satellites civils d'observation de la Terre, actuels ou proposés	10
2	Quelques réalisations canadiennes dans l'espace	31

Introduction

Introduction

En ce moment même, une multitude « d'yeux » artificiels surveillent paisiblement notre planète à partir de l'espace extra-atmosphérique. En orbite terrestre à diverses altitudes, ces détecteurs commerciaux ou militaires appartenant à plusieurs pays surveillent diverses choses. Certains collectent passivement des données aux fins du renseignement, d'autres vérifient la croissance des cultures, d'autres encore surveillent les conditions météorologiques; enfin, certains de ces détecteurs sont à la recherche de minéraux. Parmi les nombreux usages des satellites, la télédétection à partir de l'espace aux fins de la vérification est appelée à jouer un rôle de plus en plus important si l'on veut conclure des accords sur le contrôle des armements et le désarmement.

Jusqu'ici, ce sont les États-Unis et l'Union soviétique qui ont adapté leur capacité de surveillance à partir de l'espace à la vérification du contrôle des armements, surtout en rapport avec leurs accords bilatéraux. Aujourd'hui, cependant, d'autres nations, dont certaines sont déjà engagées dans le domaine spatial, se reconnaissent de plus en plus la responsabilité de participer davantage à certains aspects de la surveillance spatiale.

Au cours des quelques dernières années, le Programme de recherche sur la vérification du ministère des Affaires extérieures a réussi à réunir une équipe d'experts du gouvernement, des universités et de l'industrie afin d'étudier les moyens d'appliquer la technologie et le savoir-faire spatiaux du Canada à la vérification du contrôle des armements. Ces études ont abouti à un concept nettement canadien, dénommé PAXSAT (du mot latin « pax », paix), visant à évaluer la possibilité d'appliquer la télédétection à partir de l'espace aux tâches de vérification du contrôle des armements et du désarmement multilatéraux.

Les recherches PAXSAT ont porté avant tout sur deux applications possibles de cette forme de télédétection à la vérification multilatérale du contrôle des armements : d'une part, la télédétection espace-espace (PAXSAT « A ») portant sur la vérification d'accords concernant des objets spatiaux; d'autre part, la télédétection espace-sol (PAXSAT « B ») qui vise à aider la vérification d'accords sur les forces classiques. Cette brochure présente le concept PAXSAT de manière générale, précisant le contexte de la vérification multilatérale du contrôle des armements ainsi que les principales hypothèses sur lesquelles se fondent les projets PAXSAT.

Figure 1 Définition de la vérification

« La vérification est le fait de reconnaître une chose pour vraie ou exacte par l'examen ou la démonstration » Concise Oxford Dictionary (traduction).

Un accord sur le contrôle des armements est essentiellement un compromis où chaque partie, pour ce qui est de sa sécurité nationale, s'en remet, tout au moins en partie, aux promesses des autres signataires plutôt qu'à la force de ses propres armes. Par conséquent, il est essentiel que toutes les parties soient persuadées que leurs partenaires rempliront leurs obligations, particulièrement là où règnent la méfiance et l'incertitude. Puisque l'avantage, pour chaque État participant, résulte du respect de l'accord par les autres participants, il est naturel que l'on veuille disposer d'une garantie externe pour s'assurer que tous les participants respectent leurs engagements. La vérification est justement le moyen qui permet d'obtenir cette garantie. La mise au point de mesures de vérification sûres et suffisantes, associées à un accord sur le contrôle des armements revêt donc une importance vitale tant pour la négociation de l'accord que pour son application ultérieure.

La gamme des méthodes permettant de vérifier un accord sur le contrôle des armements est très vaste, allant de l'inspection *in situ*, où les inspecteurs visitent l'installation, à l'utilisation de détecteurs situés à une certaine distance de la région examinée. Ces derniers systèmes se sont révélés particulièrement importants pour la vérification des accords bilatéraux de contrôle des armements entre les États-Unis et l'Union soviétique. Dénommés « moyens techniques nationaux » (MTN), ils

ne sont pas précisés dans le texte de ces accords bilatéraux mais la *Arms Control and Disarmament Agency* américaine a proposé une définition utile des « moyens techniques nationaux » :

Installations, sous contrôle national, permettant de surveiller le respect des dispositions d'un accord. Les MTN comprennent les satellites de reconnaissance photographique, les systèmes aéroportés (tels que les radars et les systèmes optiques) ainsi que les systèmes fonctionnant à terre ou en mer (tels que les radars et les antennes utilisées pour la télémesure) (traduction).

Bien que les MTN englobent donc de nombreux systèmes techniques, on s'accorde pour dire que les systèmes satellites figurent au premier rang parce qu'ils présentent un degré d'intrusion relativement peu élevé.

La télédétection

Chapitre premier

La télédétection

Qu'est-ce que la télédétection? En télédétection, on fait appel au rayonnement électromagnétique pour enregistrer à distance (souvent sous forme d'images) des données sur l'environnement, dont l'interprétation ultérieure fournit des informations utiles. Plus simplement, la télédétection permet de surveiller de loin des objets ou des événements. La conception d'un système de télédétection tient compte de plusieurs facteurs :

- **La source du rayonnement électromagnétique à enregistrer** : elle peut être d'origine naturelle, comme la lumière du soleil et la chaleur émise par la Terre, ou artificielle, comme les ondes radar.
- **L'interaction avec la cible** : les caractéristiques de la cible influent sur la quantité et les caractéristiques de l'énergie qu'elle émet ou réfléchit.
- **L'interaction avec l'atmosphère** : l'atmosphère peut causer une distorsion ou une dispersion du rayonnement électromagnétique qui la traverse. Ce facteur n'entre pas en jeu dans le cas d'une télédétection d'objets spatiaux à partir de l'espace.
- **Le détecteur** : le dispositif qui enregistre l'énergie qui lui parvient de la cible est un élément clé du système.
- **La transmission des données** : une fois captées, les données doivent être transmises de la plate-forme du détecteur jusqu'au sol, où elles sont reçues et mises en mémoire.
- **L'analyse et l'interprétation** : afin qu'elles soient utilisables, les données doivent être traitées et analysées par des ordinateurs et des spécialistes de l'interprétation. Ce dernier élément est très important, et pourtant on oublie souvent d'en tenir compte.

Les capteurs de télédétection peuvent être placés au sol, à bord d'un navire, d'aéronefs ou d'engins spatiaux. Nous examinerons ici de tels dispositifs mis en place sur des satellites.

Il existe de nombreux détecteurs spatiaux qui décèlent l'énergie électromagnétique; ils comprennent les appareils photographiques, les caméras vidicon à faisceau de retour, les capteurs infrarouges et les analyseurs multispectraux. Les radars et les détecteurs passifs à micro-ondes peuvent également être utilisés à partir de l'espace. De plus, des dispositifs d'écoute électronique à bord d'engins spatiaux peuvent servir à détecter les télécommunications et les émissions radar.

Applications civiles et militaires

Les capteurs de télédétection à partir de l'espace sont aujourd'hui un instrument indispensable à toute société moderne, sur les plans civil et militaire. Souvent, un même type d'équipement sert aux deux fins. Toutefois, en règle générale, les télédétecteurs militaires offrent un pouvoir de résolution nettement supérieur à celui de leurs homologues civils. La résolution a trait à la grandeur du plus petit objet qu'un détecteur peut distinguer; elle est déterminée par la distance focale du détecteur, par son éloignement de l'objet visé et par la taille de « l'élément d'image » (ou pixel) du support d'enregistrement du détecteur. Certains affirment que les systèmes spatiaux de surveillance militaire les plus avancés ont une résolution au sol de l'ordre de 10 cm. Par contre, la meilleure résolution au sol des satellites commerciaux actuels est d'environ 10 m. Pour certaines fonctions de vérification du contrôle des armements, la simple *détection* d'un objet ou d'une activité peut suffire, tandis que d'autres tâches peuvent demander une *identification*, ce qui est plus exigeant au niveau de la résolution. Pour citer un exemple du genre de résolution qu'exigerait la vérification, des études ont révélé qu'une résolution au sol de 4,5 m conviendrait pour détecter un aéronef au moyen de capteurs optiques, tandis que la résolution devrait atteindre 0,9 m s'il fallait identifier cet aéronef.

Besoin de capteurs militaires dans l'espace

La surveillance militaire à partir de l'espace a joué un rôle très positif dans la vérification du contrôle des armements. Même en usage militaire exclusif, ces systèmes ont fait un apport direct à la paix et à la sécurité mondiales en permettant de maintenir une dissuasion efficace. Sans eux, la crainte d'une attaque surprise (surtout en période de crise politique) aurait exigé un dispositif défensif et des déploiements militaires nettement moins sécuritaires que ceux d'aujourd'hui. Il n'est donc pas déraisonnable de conclure que les systèmes de surveillance militaire à partir de l'espace ont contribué au maintien de la paix au cours des deux dernières décennies. Au niveau de la sécurité mondiale, toute tentative d'entraver leur fonctionnement aurait eu des répercussions défavorables.

Les systèmes de surveillance militaire à partir de l'espace sont et resteront probablement essentiels à la vérification des grands accords de désarmement et de contrôle des armements. Le concept PAXSAT ne diminue

nullement le rôle critique que jouent ces systèmes.

Techniques commerciales de télédétection

L'essor des satellites civils de télédétection au cours des deux dernières décennies a été extraordinairement rapide. Conçus pour surveiller la surface des continents de manière assez détaillée, certains fournissent des données qui sont ensuite commercialisées. Les deux principaux exemples sont les satellites LANDSAT et SPOT. LANDSAT est le nom d'une série de satellites de télédétection lancés par les États-Unis. Remis au secteur privé en 1985, le programme LANDSAT continue dans le cadre d'un consortium dénommé EOSAT. Le cinquième satellite de cette série LANDSAT/EOSAT a été lancé en 1984 et d'autres lancements sont prévus. SPOT, d'autre part, est un satellite mis au point par la France. Le premier d'une série prévue de quatre satellites a été lancé en janvier 1986. Ce satellite est, lui aussi, exploité commercialement.

Les images fournies par ces deux systèmes à satellites, récemment diffusées dans la presse, à la télévision et dans des publications spécialisées, ont suggéré à beaucoup de gens la possibilité d'utiliser ces données pour vérifier le contrôle des armements.

Parmi ces photos publiées, on compte :

- Des images LANDSAT et SPOT de l'emplacement des réacteurs nucléaires de Tchernobyl, en Union soviétique, où un incendie catastrophique s'était déclaré en avril 1986.
- Des images LANDSAT de la guerre entre l'Iran et l'Iraq.
- Des images LANDSAT montrant apparemment la construction d'emplacements de missiles sol-air (SA-5) en Libye.
- Une image LANDSAT qui révèle apparemment des essais de lancement, sous la glace, d'engins balistiques soviétiques lancés à partir de sous-marins, dans l'océan Arctique, près de l'île Wrangel, en URSS.
- Une image LANDSAT de la presqu'île de Kola, dans le nord de l'URSS, montrant apparemment des bases aériennes et navales (de sous-marins) de construction récente.
- Une image LANDSAT d'une prétendue base d'engins balistiques mobiles à portée intermédiaire (SS-20) près de Kirov, en URSS.

Figure 2 Spectre électromagnétique

Cette figure montre le spectre électromagnétique et énumère des dispositifs servant à détecter le rayonnement à diverses longueurs d'ondes. À l'instar de l'oeil humain, sensible à une faible proportion seulement du spectre (lumière visible), certains détecteurs ne peuvent « voir » qu'à l'intérieur d'une bande donnée de longueurs d'ondes. D'autres détecteurs, par contre, sont conçus pour surveiller plusieurs bandes différentes, optimisées selon la tâche à accomplir.

En plus d'augmenter la gamme du spectre électromagnétique qui nous est « visible », les capteurs de télédétection, grâce à l'agrandissement et aux méthodes d'accentuation et d'analyse des images, offrent un relevé beaucoup plus détaillé.

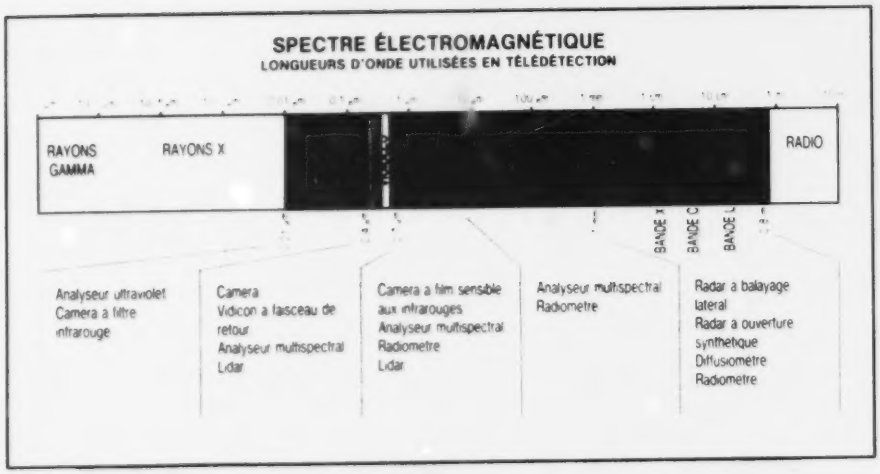


Tableau 1 Quelques satellites civils d'observation de la Terre, actuels ou proposés

Année	Programme	Pays	Détecteurs	Résolution	Largeur de la bande au sol*
1978	SEASAT-1	É.-U.	SAR**	25 m	110 km
1981	SIR-A***	É.-U.	SAR	40 m	50 km
1982	LANDSAT-4	É.-U.	Cartographie thématique	30-120 m	185 km
			Analyseur multispectral	82 m	185 km
1984	SIR-B	É.-U.	SAR	25 m	20-50 km
1986	SPOT	France	Visible et proche infrarouge	20 m	2×60 km
			Panchromatique	10 m	2×60 km
1989	LANDSAT-6	É.-U.	Cartographie thématique accentuée	15-120 m	185 km
			Analyseur multispectral à émulation	60 m	185 km
1990	ERS-1	ASE****	SAR	30 m	80 km
1990	SIR-C	É.-U.	SAR	25 m	20-50 km
1991	JERS-1	Japon	Radiomètre visible et proche infrarouge	25 m	150 km
			SAR	18 m	75 km
1993	RADARSAT	Canada	Visible et proche infrarouge	30 m	400 km
			SAR	8-28 m	100-500 km

* La largeur de la bande au sol est la largeur de la bande de terrain ou d'océan enregistrée par le capteur de satellite en un passage orbital.

** Radar à ouverture synthétique *(ou ROS, parfois utilisé)*.

*** Radar imageur de la navette spatiale.

**** Agence spatiale européenne.

- Des images SPOT des installations de la navette spatiale soviétique à Tyuratam, en URSS.

- Des images SPOT d'une installation secrète près de Samarra, en Iraq, produisant, semble-t-il, des armes chimiques.

En janvier 1986, on a signalé aussi que les images LANDSAT servaient à surveiller les activités militaires soviétiques en Extrême-Orient. D'après un autre reportage intéressant dans la presse, paru en août 1986, des images SPOT prises pour le compte d'une entreprise suédoise auraient apparemment indiqué des préparatifs, en Union soviétique, pour la reprise des essais nucléaires souterrains.

Les satellites civils actuels d'observation de la Terre pourraient donc, en principe, fournir des renseignements assez utiles pour la vérification du contrôle des armements. En réalité, cependant, la résolution et la conception des détecteurs à bord de ces satellites ne peuvent probablement pas satisfaire aux exigences minimales pour la vérification. Néanmoins, dans certains cas, on conçoit bien que ces renseignements fournis par les satellites puissent mener à d'autres méthodes de vérification, dont les inspections *in situ*, afin d'obtenir des informations plus détaillées.

On ne sait pas aujourd'hui si la résolution des satellites commerciaux et l'étendue qu'ils surveillent continueront d'augmenter jusqu'à devenir des instruments plus efficaces, aptes à assurer la vérification du contrôle des armements. Il se peut que leur mission première, c'est-à-dire la télédétection civile de paramètres terrestres, n'exige tout simplement pas une telle capacité. Les exemples qui précèdent suggèrent cependant une autre possibilité : modifier la technologie élaborée pour les observations civiles de la Terre, ou actuellement prévue pour ces satellites, pour l'adapter davantage à la vérification. Cette idée est l'une des pierres angulaires de l'effort de recherche PAXSAT au Canada.

Mise en garde

On tend parfois à croire que rien n'échappe aux capteurs de télédétection placés dans l'espace, qu'ils peuvent voir tout ce qui se passe sous eux. Pour conclure cette discussion générale sur l'utilisation de tels capteurs, une mise en garde est donc de rigueur sur les capacités de ces dispositifs : pris isolément, ils n'offrent probablement pas la solution complète à toutes les difficultés qui découlent de la nécessité de vérifier le respect des accords de contrôle des armements. Parmi les facteurs importants qui limitent l'utilité des capteurs de télédétection

exploités dans l'espace, et qui doivent entrer en ligne de compte, figurent les suivants :

- Les contraintes relatives au pouvoir de résolution.
- D'autres limitations évidentes des détecteurs, comme l'impossibilité de voir à l'intérieur de bâtiments, sous la terre ou à de grandes profondeurs sous-marines.
- Les facteurs environnementaux et climatiques, par exemple la quantité de lumière disponible et le degré d'ennuagement.
- Les contraintes orbitales et de couverture des satellites.
- Les limitations de charge utile des véhicules de lancement
- Les limitations de carburant et de durée de service de l'engin spatial.
- Les contraintes de traitement des données qu'entraîne la collecte d'énormes quantités de données fournies par les satellites.
- Le coût et la disponibilité des compétences techniques spécialisés.
- La possibilité de brouiller les détecteurs ou l'utilisation de techniques de leurrage comme le camouflage.

En collaborant et en faisant appel à d'autres méthodes de vérification, on peut surmonter bon nombre de ces limitations, à condition que soient résolus au préalable les sérieux problèmes politiques relatifs à la souveraineté nationale et au facteur intrusion associé à ces autres méthodes.

Figure 3 Série d'images d'Ottawa, prises en télédétection

Les images figurant sur les pages 21 à 27 montrent la ville d'Ottawa, vue à partir de diverses altitudes par des dispositifs de télédétection. Elles illustrent certaines capacités de toute une gamme de télédétecteurs spatiaux sensibles au rayonnement de divers segments du spectre électromagnétique.

Le rayonnement reçu par un dispositif de télédétection a certaines caractéristiques qui sont, en partie, fonction de l'objet ayant réfléchi ou émis le rayonnement. En analysant et en interprétant ces données, on peut en tirer des renseignements sur l'objet. Ces renseignements varient selon la longueur d'onde du rayonnement électromagnétique capté.

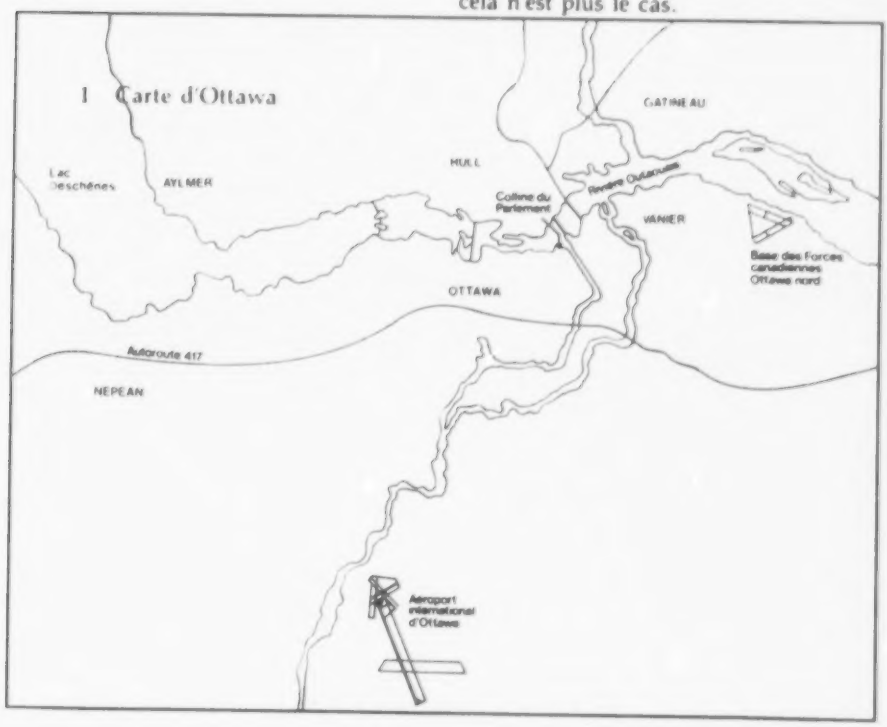
Ces images montrent bien que la distance entre le détecteur et l'objet surveillé est un facteur important en télédétection puisqu'elle influe directement sur ce que l'on peut « voir ». Les détecteurs à bord d'aéronefs peuvent généralement fournir des images beaucoup plus détaillées que ceux placés sur des satellites. D'autre part, la « largeur de la bande au sol », soit l'étendue de terrain couverte par les détecteurs, est généralement beaucoup plus étroite pour les détecteurs aéroportés que pour les détecteurs à bord d'un satellite. Autrement dit, les détecteurs aériens voient généralement de façon plus détaillée un nombre plus réduit de choses que les détecteurs à bord de satellite, qui, par contre, peuvent couvrir un territoire beaucoup plus grand. Ce rapport entre, d'une part, le niveau de détail de l'image, et d'autre part, la portée et la rapidité de couverture, illustre bien les nombreux compromis qu'il faut faire lorsqu'on choisit le capteur de télédétection le mieux adapté à la tâche.

L'un des principaux avantages des capteurs de télédétection à partir de l'espace, dans le contexte de la vérification du contrôle des armements, est que ces dispositifs ne pénètrent pas dans l'espace aérien national. Toutefois, un problème clé découlant de leur position à des centaines de kilomètres au-dessus de la Terre, est de pouvoir « voir » des objets et des activités avec suffisamment de détail pour déterminer s'il y a manquement à une obligation de contrôle des armements. Complication supplémentaire : dans le cadre de cette surveillance, il faut noter et enregistrer des événements qui se produisent sur des territoires très vastes au-dessus desquels un satellite ne passe peut-être que de temps en temps.

L'avantage qu'il y a à faire un usage complémentaire de différents types de dispositifs capteurs est une autre caractéristique importante de la télédétection,

dans le contexte de la vérification du contrôle des armements, caractéristique qu'illustrent également ces images. Par exemple, l'imagerie thermique infrarouge a des possibilités (et des limitations) de détection sans pareilles, s'écartant de celles d'autres types de capteurs de télédétection tels que les caméras en lumière visible ou le radar. Par conséquent, en utilisant simultanément toute une gamme de capteurs de télédétection, on est mieux placé pour saisir des informations pertinentes à la vérification.

Plusieurs images sur ces pages ont été réalisées à partir d'informations sous forme numérique, qui peuvent être traitées par ordinateur. Ce traitement peut multiplier les informations utiles tirées des données brutes que produit un détecteur. Par exemple, bien que la résolution d'une image ne puisse être améliorée par ces méthodes d'accentuation informatique, on peut réduire le flou et le mauvais contraste. Dans le passé, le film photographique a généralement permis une résolution meilleure que ces détecteurs électroniques, mais cela n'est plus le cas.



1 Carte d'Ottawa

2 **Image d'Ottawa** prise le 28 janvier 1986 par un radar à ouverture synthétique (ROS) aéroporté, à une altitude de 9,5 km, au moyen d'un ROS STAR-1, dans la bande K, ayant une résolution de 6 m. L'échelle est de 1 : 250 000. Il est intéressant de noter que les petits points visibles sur certaines parties de l'Outaouais sont des réflextions provenant de cabanes de pêche sur la glace. Parmi les applications civiles des images ROS on compte la cartographie, la géologie, l'agriculture, l'océanographie et les études sur les glaces.
(INTERA Technologies Ltée, Ottawa)

3 Image d'Ottawa fournie par le radar à ouverture synthétique (ROS) en bande L de SEASAT, qui était un satellite américain expérimental conçu surtout pour l'océanographie. Cette image a été relevée le 30 juillet 1978, à une altitude d'environ 800 km; elle a une résolution au sol d'environ 25 m.

Le radar offre l'avantage de pouvoir pénétrer à travers les nuages, d'une part, et de fonctionner le jour ou la nuit, d'autre part. Par contre, à cause de sa plus grande longueur d'onde, le radar a généralement un pouvoir de résolution nettement inférieur à celui des détecteurs en lumière visible. Grâce au ROS, qui synthétise une ouverture radar plus longue en profitant du mouvement de la plate-forme, on peut obtenir une plus grande résolution. Certains affirment qu'une résolution de 1 m pour les ROS dans l'espace sera peut-être réalisée au cours de la prochaine décennie.

Dans le cas d'un radar, il faut générer des impulsions électromagnétiques qui reviennent ensuite par réflexion à un récepteur; les radars

exigent donc une source d'alimentation plus importante que la plupart des autres détecteurs, ce qui est un inconvénient lorsque le poids est un facteur critique, comme dans le cas des satellites. Les ROS produisent aussi des quantités massives de données, ce qui augmente nettement l'effort de traitement par ordinateur.**(Centre canadien de télédétection)**

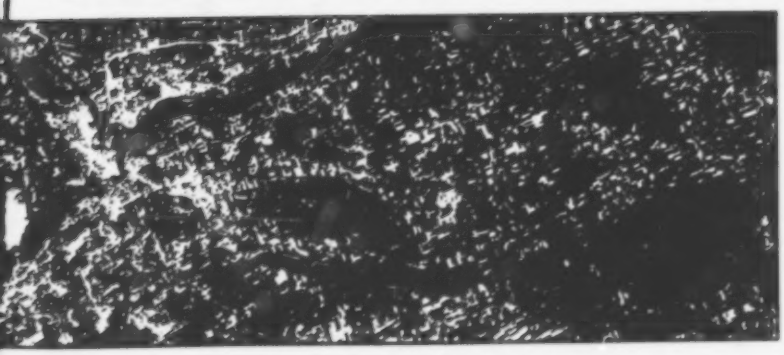
---

4 Photo aérienne en infrarouge en « fausses couleurs » prise le 20 août 1978 d'une hauteur de 12 km au moyen d'un appareil photo aérien standard doté d'un objectif de 15,24 cm. Lorsqu'on prend de telles photos, on utilise un film et des filtres d'objectif spéciaux. La végétation sur la photo semble rouge, et c'est pourquoi on parle de « fausse couleur ». Les applications civiles de ces images comprennent la surveillance agricole, la cartographie, l'analyse des effets des catastrophes environnementales et l'archéologie.
(Photothèque nationale de l'air)

5 **Photo aérienne d'Ottawa**, en couleurs, prise en juillet 1985 d'une altitude de 2 400 m. L'échelle est de 1 : 15 000. Il y a de nombreuses applications civiles de la photographie aérienne, notamment la cartographie et la planification de l'utilisation des terres.
(Photothèque nationale de l'air)

6 **Image LANDSAT d'Ottawa**, prise le 24 octobre 1982 d'une altitude de 710 km par le dispositif de cartographie thématique à bord du satellite américain LANDSAT-4 lancé en 1982. La résolution de cette image est de 30 m. On peut distinguer sur cette photo un grand nombre de routes, d'aéroports et de grands immeubles. Ce type d'image peut servir à toute une gamme de fins civiles dont l'utilisation des terres, la foresterie et la cartographie.
(Le Centre canadien de télédétection)

7 **Photo aérienne d'Ottawa,** en couleurs, prise en juillet 1985 d'une altitude de 6 300 m. L'échelle est de 1 : 40 000. Les appareils de prise de vue utilisés pour cette photo et pour la photo n° 5 avaient tous deux un objectif de 15,24 cm. **(Photothèque nationale de l'air)**



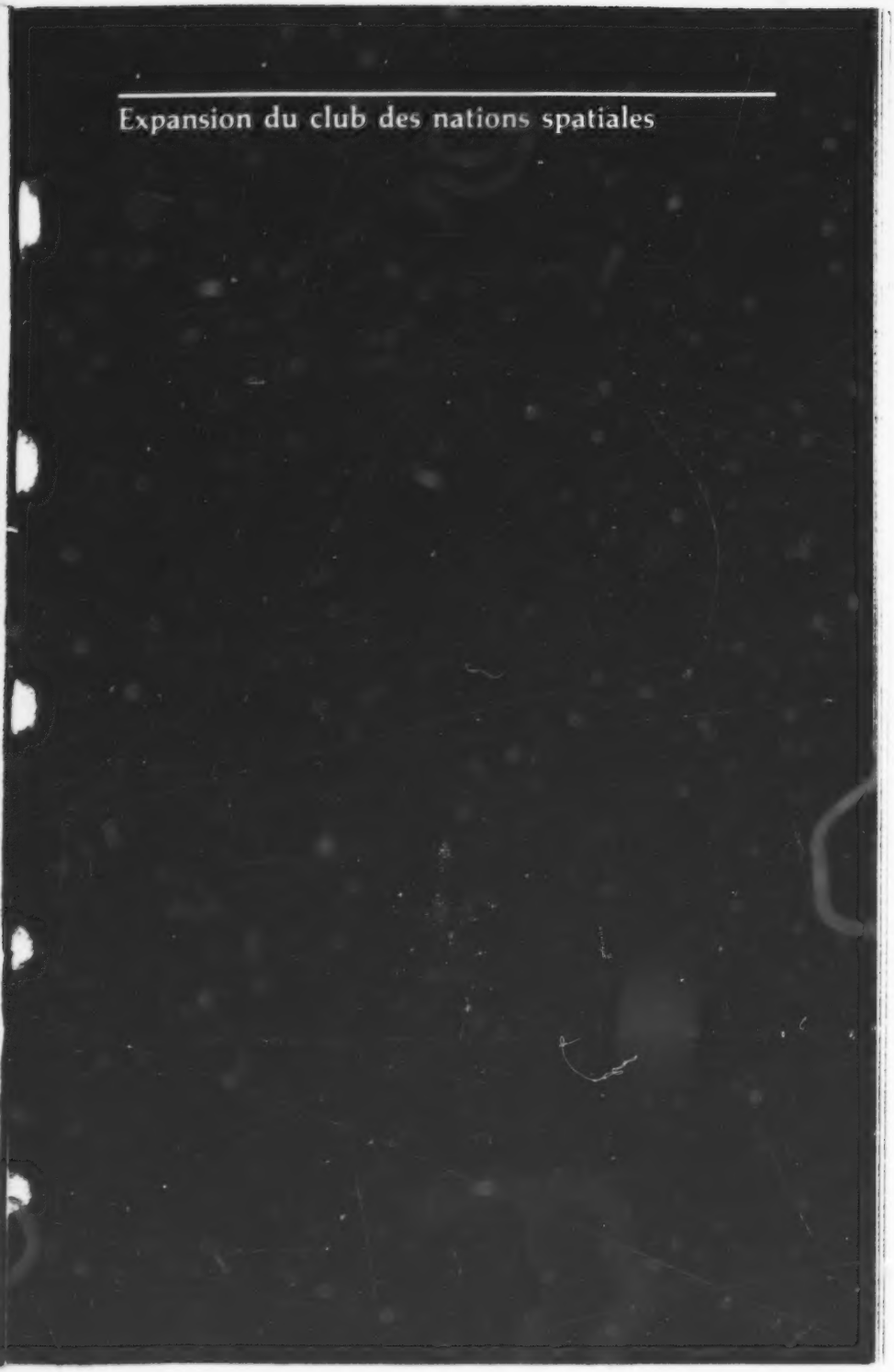
8 Image de la colline du Parlement prise en octobre 1983 d'une altitude de 1 500 m par MEIS II, qui est un capteur multispectral en peigne aéroporté. Parmi les applications de ce type de capteur électronique figurent l'agriculture, la foresterie, le contrôle de la pollution, la cartographie et la gestion des terres. **(La Division de l'acquisition des données du Centre canadien de télédétection)**

9 Image « en infrarouge thermique » de la colline du Parlement, prise en décembre 1983, à 11 h, d'une altitude de 450 m. L'imagerie en infrarouge thermique utilise un segment du spectre électromagnétique différent de celui de l'imagerie en fausse couleur représentée par l'image n° 4. Les régions plus claires de cette image sont plus chaudes que les régions adjacentes. Notons que l'image a été prise la nuit, ce qui met en évidence l'une des caractéristiques utiles de l'imagerie en infrarouge thermique : elle ne dépend pas de la lumière du jour.

On voit sur cette photo plusieurs détails intéressants. La chaleur émise par les bâtiments, un tunnel souterrain (A), les « ombres » thermiques des automobiles qui viennent de quitter leur espace de stationnement (B), et les lampadaires des rues. La visibilité du tunnel signale un autre avantage de ce type d'images, c'est-à-dire la possibilité qu'elles offrent, dans certaines circonstances, de « voir » des objets enterrés et de pénétrer à travers le camouflage.

La résolution des détecteurs en infrarouge thermiques est nettement inférieure à celle des caméras en lumière visible. Les applications civiles de ces images comprennent la gestion énergétique pour éviter les pertes de chaleur ainsi que le contrôle de la pollution.
(INTERA Technologies Ltée, Ottawa)

Les photographies 4i, 5i et 7i proviennent de la collection de la Photothèque nationale de l'air et ont été reproduites avec l'autorisation d'Énergie, Mines et Ressources Canada


Expansion du club des nations spatiales

Chapitre deux

Expansion du club des nations spatiales

Le nombre des pays qui possèdent une technologie spatiale et qui ont accès à l'espace augmente rapidement. C'est la navette spatiale américaine qui a le plus répandu l'idée d'un accès plus facile à l'espace, tout en mettant en évidence les énormes défis et les dangers imprévus qui accompagnent son exploration. De plus en plus, d'autres nations spatiales offrent des services de lancement. La mise au point du véhicule de lancement Ariane par la France et par l'Agence spatiale européenne en est un exemple. Le Japon, la Chine et l'Inde avancent tous, à des cadences diverses, sur ce même chemin. Ces réalisations soulignent la capacité croissante de nombreux pays de construire et lancer des satellites; elles signalent également que la possibilité de surveiller la Terre à partir de l'espace ne sera bientôt plus l'apanage de quelques États.

Le Canada, lui aussi, est un État spatial. Troisième pays, après les États-Unis et l'Union soviétique, à avoir exploité un satellite dans l'espace, il a un long palmarès dans le domaine spatial, en commençant par le lancement du satellite Alouette en 1962. Nous sommes en droit d'affirmer que le Canada est à la fine pointe des connaissances dans de nombreux domaines des sciences et techniques spatiales. Nous devons donc, nous aussi, incorporer nos connaissances spécialisées au processus de contrôle des armements auquel nous nous sommes voués avec nos alliés.

Il semble pratiquement certain que la télédétection à partir de l'espace restera un élément indispensable à la vérification des accords bilatéraux de contrôle des armements entre les superpuissances. L'élément nouveau, aujourd'hui, est la probabilité croissante que d'autres pays seront à même d'employer des techniques similaires pour la vérification multilatérale. La forme que revêtira cette capacité embryonnaire n'est pas encore clairement esquissée. Sans aucun doute, d'autres pays en viendront à posséder leurs propres « moyens techniques nationaux » de vérification à partir de l'espace. Nous avons déjà mentionné également la possibilité que des satellites commerciaux fournissent certaines données pour la vérification du contrôle des armements, à tout pays ou groupe disposé à en payer le prix. Il se peut aussi que plusieurs pays qui ont une attitude commune envers le problème, qui possèdent une capacité en matière de techniques spatiales de pointe et qui agissent au nom d'un groupe plus vaste de signataires d'un traité, s'accordent pour partager leurs

ressources afin de vérifier un accord de contrôle des armements qui serait conclu à l'avenir. Cette dernière possibilité, que l'on pourrait qualifier de vérification « plurilatérale », mérite un examen plus approfondi.

Tableau 2 Quelques réalisations canadiennes dans l'espace

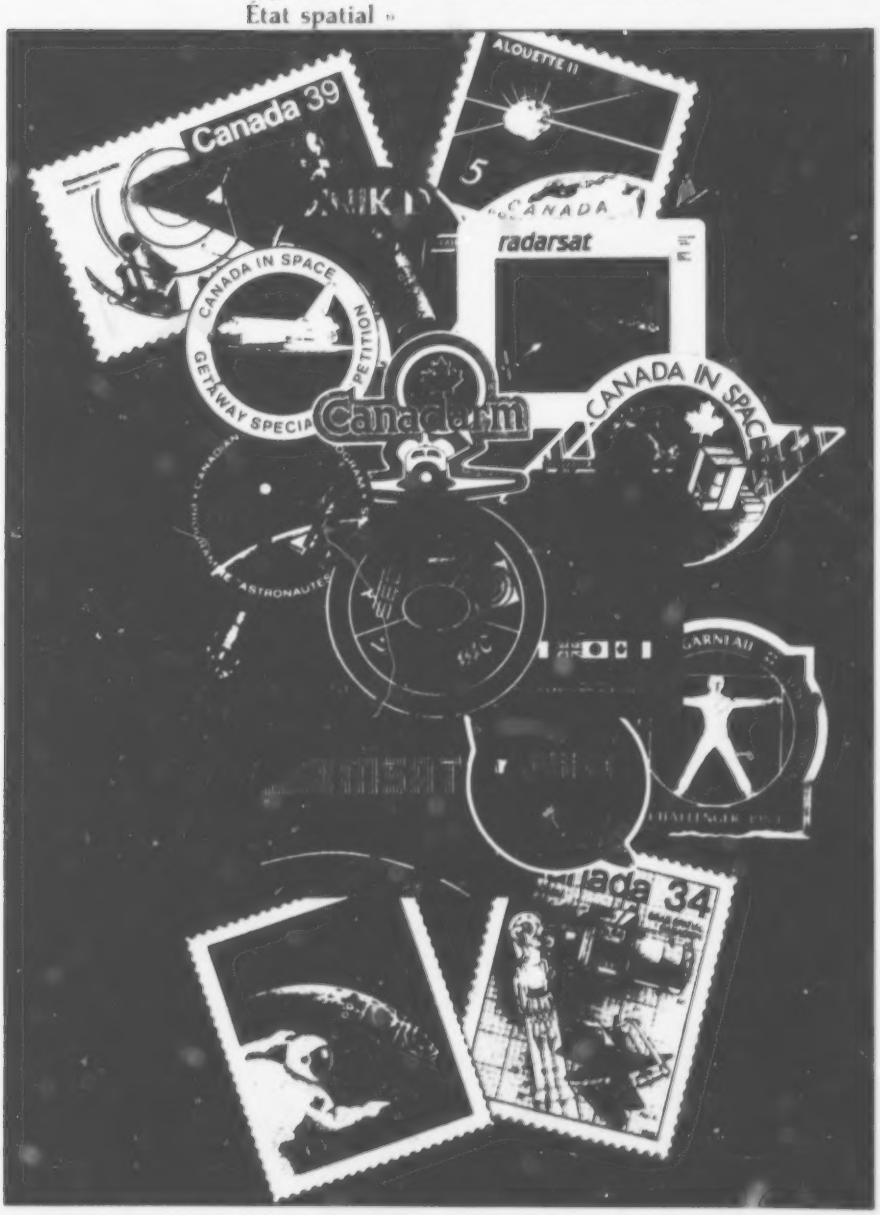
Septembre 1962	**Alouette 1 :** Le Canada devient le troisième pays, après l'Union soviétique et les États-Unis, à exploiter un satellite dans l'espace. Alouette 2 est lancé en novembre 1965.
Janvier 1969	**ISIS 1** (Satellite international pour l'étude de l'ionosphère). ISIS 2 est lancé en avril 1971.
Novembre 1972	**Anik A1 :** Le Canada est le premier pays à exploiter un système national de télécommunications utilisant un satellite en orbite géostationnaire, le premier de trois satellites Anik A. Anik A2 est lancé en avril 1973 et Anik A3 en mai 1975.
Janvier 1976	**« Hermès » ou CTS** *(Communications Technology Satellite* — Satellite technologique de télécommunication) : Premier satellite

	satellite capable d'émissions directes destinées aux récepteurs domestiques, peu coûteux, dans la bande de fréquence de 12 à 14 GHz.
Décembre 1978	**Anik B** : Premier satellite de télécommunications exploité simultanément dans les bandes de fréquences de 4-6 GHz et 12-14 GHz.
Août 1982	**Anik D1** : Premier satellite commercial construit par un entrepreneur canadien, Spar Aérospatiale Limitée. Anik D2 est lancé en novembre 1984.
Novembre 1982	**Anik C3** : Lancé lors de la première mission commerciale de la navette spatiale. Anik C2 est lancé en juin 1983 et Anik C1 en avril 1985, lors de missions ultérieures de la navette spatiale.
Novembre 1982	« **Le bras canadien** » ou système de télémanipulation : Il est déclaré opérationnel après plusieurs voyages et essais réussis lors de missions de la navette spatiale.
Février 1983	**SARSAT** (*Search and Rescue Satellite Aided Tracking* — Poursuite assistée par satellite de recherche et sauvetage) : Le Canada fournit les émetteurs-récepteurs pour le satellite et conçoit et construit plusieurs stations au sol pour ce projet international.

Octobre	1984	**Marc Garneau** : Le premier astronaute canadien voyage à bord de la navette spatiale *Challenger*.
?	1991	**M-SAT** (satellite du programme de télécommunications mobiles par satellite)* : Satellite de télécommunications visant à permettre de meilleures communications vocales et de données avec les véhicules, aéronefs, navires et autres stations mobiles, pour une vaste gamme de communications personnelles ou d'affaires dans les régions éloignées ou rurales du Canada.
?	1993	**RADARSAT*** : Satellite de télédétection par radar à ouverture synthétique fournissant des informations sur l'état des glaces, les icebergs, les navires et les conditions océaniques dans nos zones économiques côtières et arctiques, ainsi que des données pour la cartographie des terres. Le satellite fournira également des informations globales sur les vents marins ainsi que des données pour la cartographie stéréogéologique par radar.
?	1994	**Station spatiale** : L'une des contribution du Canada sera probablement le Centre mobile de servitude de la station.

* En février 1987, ni le projet M-SAT ni le projet RADARSAT n'avaient reçu l'approbation finale.

Figure 4 « Le Canada, lui aussi, est un Etat spatial »



Vérification multilatérale du contrôle des armements

Chapitre trois

Vérification multilatérale du contrôle des armements

Solution d'avenir?

Aujourd'hui, en partie suite à une série d'importants accords bilatéraux de contrôle des armements, ce sont les États-Unis et l'Union soviétique qui possèdent l'essentiel des capacités mondiales de vérification à partir de l'espace extra-atmosphérique. Si l'on exclut le Traité de 1968 sur la non-prolifération, on peut affirmer qu'il n'existe pas encore de traité multilatéral suffisamment important qui justifierait, pour la vérification de ses clauses, le haut niveau de perfectionnement technique et de ressources financières qu'exigerait la télédétection à partir de l'espace. À mesure qu'évolue le processus de contrôle des armements, l'avènement de traités multilatéraux importants semble pourtant de plus en plus probable. Il pourrait s'agir de traités concernant l'espace extra-atmosphérique, les armes chimiques ou le contrôle des armements dans des régions spécifiques, notamment en Europe. Dans ces trois cas, la télédétection à partir de l'espace est probablement appelée à jouer un rôle important, sinon essentiel, au niveau de la vérification.

Dans ce contexte, l'accord conclu à Stockholm en septembre 1986 est un exemple pertinent. Désigné sous le nom de « Document de Stockholm », cet accord a été signé par 35 pays membres de la Conférence sur la sécurité et la coopération en Europe (CSCE). Il comporte un ensemble complexe de mesures destinées à renforcer la confiance mutuelle et la sécurité en réduisant la crainte d'attaques surprises et en établissant une plus grande confiance réciproque dans le domaine militaire en Europe. Les méthodes de vérification prévues par cet accord comprennent les inspections terrestres et aériennes. La mise au point de capteurs ultra-modernes pour la télédétection à partir de l'espace, dans le seul but de vérifier le Document de Stockholm, ne sera peut-être pas justifiée, puisque les mesures précisées dans ce document ne créent peut-être pas le même degré d'inquiétude, quant à la vérification, qu'un accord réduisant ou limitant substantiellement les armements. Néanmoins, il ne faut pas sous-estimer l'importance politique de cet accord, signé par tous les pays d'Europe (sauf l'Albanie) ainsi que par le Canada et les États-Unis; il compte parmi les quelques accords multilatéraux sur la sécurité adoptés ces dix dernières années. Exemple probant de l'approche multilatérale aux négociations Est-Ouest sur le contrôle des armements, la mise en oeuvre du Document de Stockholm ouvre peut-être la voie au contrôle des armements et au désarmement multilatéraux.

À mesure qu'aboutissent des accords multilatéraux supplémentaires, le nombre de pays participant à la vérification devrait augmenter. Il est évidemment dans l'intérêt de tout pays de participer au système conçu pour vérifier le respect des accords qu'il a conclus.

Cette évolution vers les accords multilatéraux se produit au moment même où de plus en plus de pays deviennent capables d'employer des détecteurs placés dans l'espace pour vérifier les accords de contrôle des armements. Ces deux tendances qui se renforcent mutuellement (c'est-à-dire un plus grand nombre d'accords multilatéraux et davantage de pays possédant des capteurs placés dans l'espace) semblent indiquer que nous en arrivons au point où, plus qu'une simple possibilité, la multilatéralisation de la vérification du contrôle des armements est en passe de se réaliser, sous une forme ou une autre. Il reste à mettre au point un « troisième système » de vérification et d'orienter son application.

« Troisième système »

Le terme « troisième système » se réfère à une capacité de vérification que les superpuissances n'exploitent pas en exclusivité. Un « troisième système » ne servirait pas d'arbitre dans des questions ayant trait uniquement aux superpuissances, sa mise au point résultant plutôt d'obligations qui découlent d'accords multilatéraux précis.

Le concept PAXSAT porte sur la faisabilité d'un tel « troisième système ». À l'encontre d'autres concepts proposés, son exploitation se ferait dans un contexte multilatéral; il part du principe qu'il doit se rapporter à un traité précis; enfin, il reflète la participation du Canada au processus de négociation du contrôle des armements et du désarmement.

Agence internationale de satellites de contrôle

Lors de la première session spéciale des Nations Unies sur le désarmement (UNSSOD I) en 1978, la France a proposé que l'ONU établisse une Agence internationale de satellites de contrôle (ISMA) pour aider à vérifier les traités de contrôle des armements, en vigueur ou futurs, ainsi que pour d'autres fonctions de désamorçage des crises. Cette Agence, selon le plan en trois étapes proposé, devait être développée sur une base globale, sous l'égide des Nations Unies. Elle représentait une approche novatrice concernant la multilatéralisation des techniques de vérification, concept appuyé par le Canada.

Dès le départ, on constate plusieurs problèmes sérieux. Bien que la plupart aient été cernés en 1982 dans l'étude des experts de l'ONU sur l'ISMA, les

conclusions tirées de ce rapport n'en ont pas tenu suffisamment compte. En premier lieu, on a noté un manque remarquable d'enthousiasme de la part des superpuissances. Non sans justification, elles se sont peut-être dit que leur participation aurait trop révélé sur leurs propres « moyens techniques nationaux ». D'autres pays se sont révélés assez réticents quant à l'utilisation, dans d'autres contextes, de la télédétection de la surface terrestre. Ces inquiétudes seraient sans doute exacerbées si la sécurité nationale était directement en jeu. La vérification n'équivaut pas à la collecte pure et simple de données techniques. Loin d'être de simples questions techniques, l'interprétation des images fournies par les satellites et le jugement concernant le respect de l'accord font partie intégrante du processus politique.

Il se posait également la question financière de savoir s'il serait ou non acceptable de dépenser, pour un seul projet comme l'ISMA, une somme dépassant le budget annuel de l'ensemble de l'ONU.

Certains de ces problèmes ont été discutés lors de la réunion du 25e anniversaire de la fondation du Mouvement Pugwash, à Pugwash, en 1982. M. Mark MacGuigan, alors secrétaire d'État du Canada aux Affaires extérieures, nota qu'avant de pouvoir établir un organisme comme l'ISMA, la communauté mondiale devait d'abord conclure un accord de contrôle des armements suffisamment important pour justifier une telle agence.

En mai 1986 paraissait dans le journal *Space Policy* un article bref mais incisif, intitulé *The ISMA Proposal — Time for a Reappraisal* (La proposition ISMA à l'heure de la réévaluation), dans lequel les auteurs, fonctionnaires du gouvernement français, résumaient certaines des questions institutionnelles, financières, politiques et méthodologiques qui s'opposaient à cette proposition. Ils suggéraient une réévaluation du contexte dans lequel la télédétection à partir de l'espace serait appliquée à la vérification du contrôle des armements.

En fait, à l'origine (en 1981), le concept PAXSAT découlait des problèmes définis par Mark MacGuigan à Pugwash et récemment résumés dans *Space Policy*. À l'encontre de l'ISMA, PAXSAT fut conçu dès le début comme applicable *uniquement* à un traité donné. À l'encontre de l'ISMA, PAXSAT s'inscrit dans un contexte régional. À l'encontre de l'ISMA, PAXSAT n'aurait aucune application en dehors du traité. Dans le cadre de PAXSAT, les participants seraient des parties au traité lui-même.

L'approche canadienne en matière de vérification multilatérale

Chapitre quatre

PAXSAT : L'approche canadienne en matière de vérification multilatérale

Le Canada, qui préconise le progrès des négociations sur le contrôle des armements et le désarmement, met l'accent sur les aspects pratiques, et c'est l'une des raisons pour lesquelles les recherches sur la vérification des accords sur le contrôle des armements, comme les études PAXSAT, constituent, à notre avis, un domaine où nous pouvons faire un apport utile. Le très honorable Joe Clark, secrétaire d'État aux Affaires extérieures, a déclaré ce qui suit devant la Chambre des communes, le 23 janvier 1986 :

> *Les mesures de vérification efficaces favorisent le respect des traités de contrôle des armements et facilitent leur négociation. La vérification est un domaine où les connaissances spécialisées et les efforts diplomatiques du Canada s'entraident. . . Nous sommes en tête du peloton pour ce qui est de la mise au point de procédures et techniques de vérification répondant aux besoins pratiques des accords sur le contrôle des armements, qui sont prévus ou qui font actuellement l'objet de négociations* (traduction).

Dès le début, les recherches PAXSAT ont tenu compte des réalités et tendances importantes décrites aux chapitres antérieurs. Par conséquent, certains points sont au cœur même du concept PAXSAT et favorisent la réalisation d'un tel système de vérification multilatérale. Voici quelques-uns de ces points :

- Il doit y avoir un important accord multilatéral en puissance pour justifier le niveau de perfectionnement technologique et l'engagement des fonds nécessaires à la mise au point d'un tel système technique de vérification.
- Les parties à un tel accord devraient au moins avoir la possibilité de participer à sa vérification.
- Le système PAXSAT serait conçu pour un traité précis : il serait utilisé uniquement en rapport avec l'accord pour lequel il a été conçu, dans le cadre d'un processus général de vérification de cet accord.
- Le traité à vérifier définirait l'autorité politique nécessaire pour le mécanisme de vérification et son exploitation.
- Les besoins technologiques seraient comblés par l'ensemble des participants et ne dépendraient pas de la parti-

cipation des superpuissances, bien que le traité soit, bien sûr, ouvert à tous les États.

- Dans la mesure du possible, PAXSAT doit être basé sur la technologie qui existe déjà et que l'on peut se procurer ouvertement, sans exiger des perfectionnements importants et coûteux. La technologie du secteur privé au Canada est à la base des études effectuées sur PAXSAT.

Bien que les recherches sur PAXSAT ne soient pas encore achevées, les deux sections suivantes résument plusieurs observations initiales.

PAXSAT « A » : Télédétection d'objets spatiaux à partir de l'espace

L'étude de faisabilité de PAXSAT « A » avait pour but de décider si un système d'observation à partir de l'espace pouvait aider à vérifier un accord de contrôle des armements dans l'espace extra-atmosphérique. À cette fin, l'étude devait répondre à deux grandes questions :

1) L'observation d'un objet spatial à partir de l'espace peut-elle déterminer le rôle ou la fonction de l'objet, particulièrement en ce qui concerne un système d'armes?
2) Les exigences opérationnelles permettraient-elles une conception viable de l'engin spatial pour la mission PAXSAT « A » ?

La réponse aux deux questions est affirmative, mais sous une certaine réserve. Voici quelques-unes des observations initiales tirées de l'étude PAXSAT « A » :

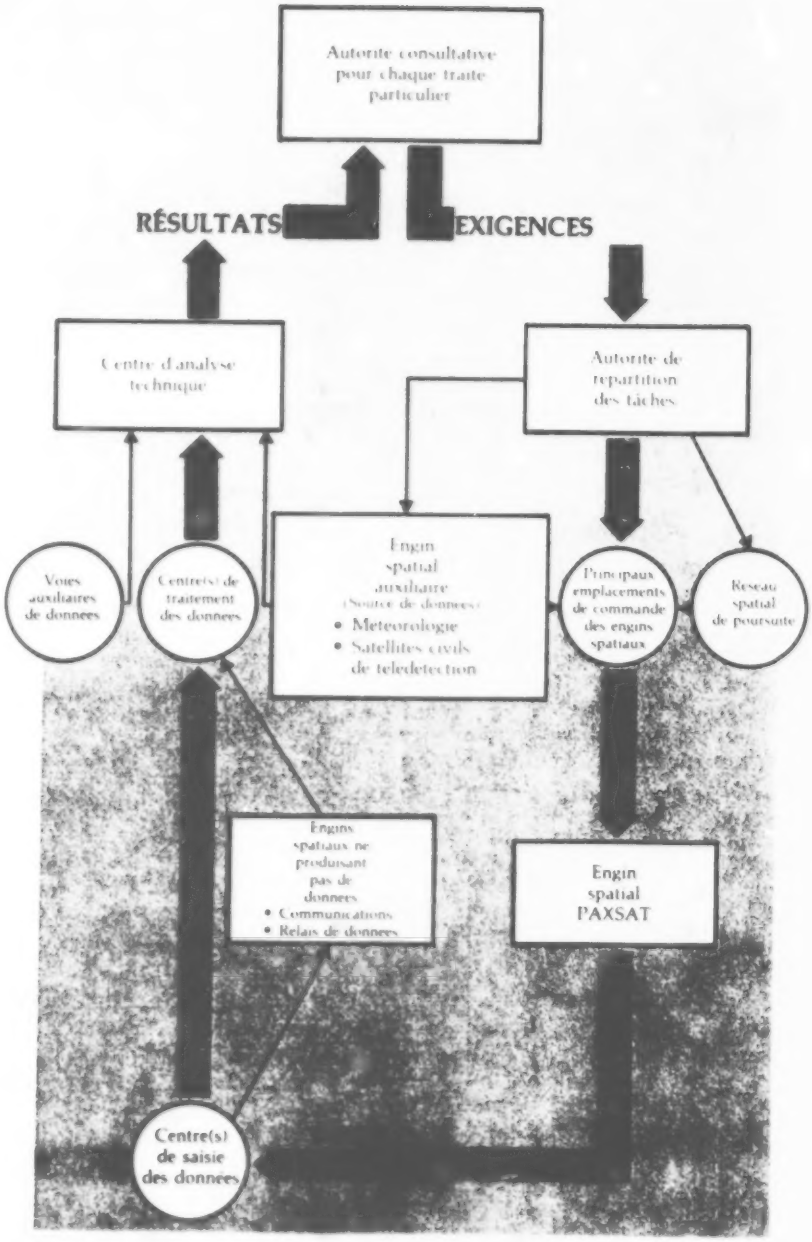
- Le haut degré d'optimisation qui caractérise la conception de tout engin spatial et ses paramètres orbitaux, ainsi que la nature des signaux à destination ou à provenance de l'engin, permettent d'obtenir des données très révélatrices sur sa fonction.

- Le moyen le plus utile de déterminer la fonction d'un engin spatial par des systèmes d'observation dans l'espace serait de placer l'engin observateur sur la même orbite et de le maintenir en position par rapport à la cible pendant un certain temps.

- Une autre méthode possible pour l'observation d'un engin spatial, méthode consommant moins de carburant, serait une intersection de l'orbite, qui permettrait une vérification préliminaire de la cible.

Figure 5 — Organigramme conceptuel des données fournies par PAXSAT

Ce diagramme indique le cheminement général des informations ainsi que les principaux points de prise de décisions, dans le système PAXSAT proposé pour la vérification à partir de l'espace. L'un des éléments importants que les participants à tout système PAXSAT doivent peser soigneusement, est la mise sur pied d'une autorité consultative pour chaque traité particulier, qui devra prendre des décisions politiques critiques sur les activités de vérification. Autre besoin important : élaborer des mesures permettant d'assurer le caractère confidentiel des données recueillies et analysées par les éléments techniques du système.


Autorité consultative pour chaque traité particulier
RÉSULTATS
EXIGENCES
Centre d'analyse technique
Autorité de répartition des tâches
Voies auxiliaires de données
Centre(s) de traitement des données
Engin spatial auxiliaire (Source de données)
• Météorologie
• Satellites civils de télédétection
Principaux emplacements de commande des engins spatiaux
Réseau spatial de poursuite
Engins spatiaux ne produisant pas de données
• Communications
• Relais de données
Engin spatial PAXSAT
Centre(s) de saisie des données

- Les problèmes de l'observation à partir de l'espace sont atténués par le fait que les missions spatiales militaires et connexes ont des orbites groupées dans des secteurs limités de l'espace.
- Un engin spatial PAXSAT « A » pourrait emporter plusieurs détecteurs, dont un système d'imagerie en lumière visible, un système d'imagerie thermique, un récepteur permettant de mesurer les signaux de communication, ainsi que des capteurs chimiques et de rayonnement.
- Tous les éléments proposés de l'engin spatial PAXSAT « A » relèvent de la technologie dont disposent les agences spatiales civiles des pays autres que les superpuissances, certains modules étant immédiatement disponibles, sans nécessiter de mise au point supplémentaire.

PAXSAT « B » : Télédétection au sol à partir de l'espace

L'étude de faisabilité PAXSAT « B » a porté sur l'application de la télédétection à partir de l'espace afin de vérifier le contrôle d'armements classiques, dans un contexte général. Afin de mieux centrer l'effort de recherche, on a choisi un territoire géographique bien précis : l'Europe. Citons quelques-unes des observations préliminaires tirées de cette étude :

- Les accords sur le contrôle des armements qui seront probablement conclus en Europe exigeront divers types de mesures de vérification; la vérification à partir de l'espace pourrait combler certains de ces besoins.
- Les satellites de télédétection civile, actuels ou prévus, offrent un pouvoir de résolution et une gamme de fréquences de surveillance qui ne suffisent pas à tous les besoins de PAXSAT « B ».
- Cependant, les satellites civils comme le satellite canadien RADARSAT proposé, pourraient fournir des informations utiles, de niveau « détection », pour renforcer la confiance mutuelle.
- Pour répondre à tous les besoins de vérification des accords escomptés, il faut des capteurs et des plates-formes PAXSAT « B » réservés à cette fin.
- Il existe, en dehors des superpuissances, la base technologique nécessaire, à partir de laquelle l'ensemble du système PAXSAT « B » pourrait être mis au point d'ici le milieu ou la fin des années 1990.

Conclusion

Conclusion

Le Canada ne peut pas amener d'autres pays à conclure des accords sur le contrôle des armements et le désarmement. Il n'a pas l'intention non plus de mettre au point tout seul des systèmes de vérification comme ceux envisagés par les études PAXSAT. De par leur nature même, ces efforts exigent la collaboration de nombreux pays. Nous ne prétendons pas connaître toutes les solutions aux difficultés politiques et techniques qui entourent la négociation d'accords sur le contrôle des armements et leurs clauses de vérification. Toutefois, par nos efforts de recherche sur les techniques de vérification à partir de l'espace, nous pouvons jeter un peu de lumière sur l'application de ces techniques en vue d'une capacité de vérification multilatérale, dans l'espoir de contribuer ainsi au progrès du contrôle des armements.

Figure 6 Lecture supplémentaire
Les documents suivants sont disponibles dans les bibliothèques publiques et universitaires, au Canada.

1 John N. Barry. « Application of Space and Remote Sensing Technology to Verification of Weapons Systems for Use in Outer Space ». Dans **Compliance and Confirmation: Political and Technical Problems in the Verification of Arms Control of Chemical Weapons and Outer Space** pp. 97-111. Édité par Harald von Riekhoff. Ottawa: École Norman Paterson d'affaires internationales, Université Carleton, 1986.

2 R. Buckingham. **Satellite Surveillance and Canadian Capabilities.** Document de travail n° 7. Ottawa : Institut canadien pour la paix et la sécurité internationales, septembre 1986.

3 Canada. **La vérification sous tous ses aspects : Étude globale de la vérification aux fins du contrôle des armements et du désarmement présenté conformément à la résolution 40/152(0) de l'Assemblée générale des Nations Unies.** Rapport présenté aux Nations Unies, avril 1986.

4 F.R. Cleminson. « Feasibility of Space-based Remote Sensing in the Verification of a Treaty to Prevent an Arms Race in Outer Space ». Dans **Modelling and Analysis in Arms Control,** pp. 399-408. Edité par Rudolf Avenhaus, Reiner K. Huber et John D. Kettle. Série ASI OTAN — Series F. Computer and Systems Sciences, Vol. 26, Berlin : Springer-Verlag Heidelberg, 1986.

5 F.R. Cleminson et E. Gilman. **Document de travail théorique sur le concept de vérification de la limitation des armements.** Étude sur la vérification du contrôle des armements, n° 1. Ottawa : Ministère des Affaires extérieures, 1986.

6 F.R. Cleminson et E. Gilman. « Proposals and Technology in Arms Control Verification: A Survey. » Dans **Quantitative Assessment In Arms Control: Mathematical Modelling and Simulation in the Analysis of Arms Control Problems**, pp. 359-381. Édité par Rudolf Avenhaus et Reiner K. Huber, Université des Forces armées fédérales, Munich, République fédérale d'Allemagne. New York : Plenum, 1984.

7 A. Crawford, et al. **Compendium of Arms Control Verification Proposals.** 2e édition. ORAE Rapport n° R81. Ottawa : Centre d'analyse et de recherche opérationnelle, Ministère de la Défense nationale, mars 1982.

8 William C. Heine. « Canada from Space ». **Canadian Geographic** (décembre 1986/janvier 1987) : pp. 42-55.

9 N.M. Matte. « International Verification Procedures: Past and Future Prospects ». **Annals of Air and Space Law XI** (1986) : pp. 237-257.

10 F.J.F. Osborne. « The PAXSAT Concept: A Study of Space-to-Space Remote Sensing ». Dans **A Proxy for Trust: Views on the Verification Issue in Arms Control and Disarmament Negotiations.** Édité par John O'Manique. Ottawa : École Norman Paterson d'affaires internationales, Université Carleton, 1985.

Nous enjoignons toutes les nations à collaborer et à participer à la mise au point des techniques de vérification nécessaires pour créer la confiance mutuelle qui permettra d'entériner ces accords, et pour prévoir les mesures à prendre par la suite, dans tous les domaines du contrôle des armements. Car la vérification n'est pas une simple question de capacité technique mais aussi de volonté politique pour que nous puissions nous mettre d'accord sur l'application des technologies et des techniques.

Dans cet esprit et en collaboration avec d'autres pays, le Canada poursuivra ses efforts vigoureux afin qu'il y ait de réels progrès en matière de vérification.
(traduction)

L'honorable Joe Clark, secrétaire d'État aux Affaires extérieures, discours prononcé devant l'Assemblée générale des Nations Unies le 24 septembre 1986.

Brochure sur la vérification
n° 1 *Vérification sismique, 1986*